

## **Empreinte écologique des colorants textiles : analyse comparative entre teinture végétale et colorants artificiels**

Herimalala Raharitsiadiana<sup>1</sup>, Blanche Graziella Ranisaharivony<sup>2</sup>, Emma Rakotoarivony<sup>3</sup>, Marta Andriantsiferana<sup>4</sup>

- 1- Doctorant, Ecole Doctorale Valorisation des Ressources Naturelles Renouvelables, Université d'Antananarivo, BP 175 Campus Universitaire Ankatso, Antananarivo, Madagascar
- 2- Maître de recherches, Centre National de Recherches sur l'environnement Antananarivo, BP 1739, 101 Antananarivo, Madagascar
- 3- Chercheur au Centre National de Recherches industrielles et technologique CNRIT, BP 6294, Antananarivo, Madagascar
- 4- Professeur Emérite, Ecole Doctorale Valorisation des Ressources Naturelles Renouvelables, Université d'Antananarivo, BP 175 Campus Universitaire Ankatso, Antananarivo, Madagascar

Auteur correspondant : Herimalala Raharitsiadiana

Adresse: Ecole Doctorale Valorisation des Ressources Naturelles Renouvelables, Université d'Antananarivo, Madagascar

e-mail : [catiemalala@gmail.com](mailto:catiemalala@gmail.com)

Téléphone : +261340194125

### **Résumé**

A Madagascar, l'utilisation de colorants naturels est une pratique traditionnelle qui remonte à des siècles. Néanmoins, le faible coût et la facile utilisation de colorants chimiques constituent un handicap pour sa pratique. Toutefois, tant la fabrication que l'utilisation des teintures synthétiques constituent un véritable désastre écologique, avec des conséquences sur les changements climatiques. A l'opposé, les colorants naturels sont fabriqués à partir de ressources renouvelables, avec des procédés éco-responsables. Ils ne génèrent pratiquement pas de déchets toxiques. Les présents travaux ont permis d'effectuer une étude comparative des rejets industriels provenant d'activités de teinture chimique et des rejets issus d'un atelier de teinture végétale. En effet, ont été entreprises des caractérisations physico-chimiques d'effluents de teinture et des études des effets de la pollution sur une espèce de poisson, le tilapia du Nil. Les effluents industriels sont constitués des eaux de très forte salinité, présentant une DCO moyenne de 777 mg L<sup>-1</sup>, et une DBO<sub>5</sub> moyenne de 216 mg L<sup>-1</sup> contre 268 mg L<sup>-1</sup> et 39,27 mg L<sup>-1</sup> respectivement pour le rejet issu de l'atelier de teinture végétale. L'étude de la toxicité aiguë sur les poissons montre une valeur de CL<sub>50</sub> en 24 heures égale à une concentration de 4,13% d'effluents, tandis que l'eau issue de la teinture végétale reste relativement inoffensive après 96 heures d'exposition. Ainsi, les effets néfastes des colorants synthétiques comparés aux colorants naturels, sont incontestables.

### **Mots-clés**

Teinture naturelle, teinture chimique, rejets, écotoxicité, pollution environnementale

## 1- Introduction

Madagascar est doté d'une diversité de colorants d'origine naturelle: des minéraux, des animaux, particulièrement des végétaux. Les teintures naturelles contiennent plusieurs molécules colorantes, provenant de familles chimiques parfois très différentes [1]. Selon les espèces, l'extraction des colorants fait appel à divers types de procédés : fermentation, décoction, utilisant des solvants écologiques à l'exemple de l'éthanol, du méthanol ou de l'eau. Cependant, les colorants naturels peuvent être moins stables que les colorants synthétiques. Obtenir des couleurs vives, uniformes et reproductibles est difficile par rapport aux colorants synthétiques. Ainsi, les pigments naturels peuvent être plus coûteux à produire en grande quantité, ceci se répercute nécessairement sur le prix des produits finis.

Les colorants artificiels répondent sans doute à la tendance de la consommation, ils sont des dérivés du goudron et de produits pétrochimiques [2]. Ils sont non biodégradables. Ils contiennent des métaux lourds, des colorants azoïques, interdits dans certains pays, du formaldéhyde, des phtalates et des dérivés chlorés [3]. Le procédé de teinture dans l'industrie textile est par conséquent très nocif, non seulement pour l'homme, mais aussi pour la planète, il constitue un vrai danger pour l'environnement et accentue les effets des changements climatiques [4]. En outre, aujourd'hui la teinture est considérée comme étant responsable à hauteur de 20% de la pollution des eaux dans le monde [5].

A Madagascar, le faible coût de la main d'œuvre et la maîtrise de la chaîne de fabrication ont favorisé l'implantation massive des entreprises franches œuvrant dans le secteur textile. Malheureusement, ces usines ont du mal à traiter correctement leurs rejets fortement chargés en colorants et divers tensioactifs, qui se déversent directement dans les canaux d'irrigation et dans les rizières. L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'effet de la pollution, ainsi que la toxicité des effluents liquides issus des activités des usines textiles malgaches dans les milieux naturels : l'eau et les organismes aquatiques récepteurs, notamment l'espèce de poisson *Tilapia nilotica*. Ces données ont été comparées aux résultats obtenus pour le cas d'un atelier de teinture naturelle.

## 2- Méthodologie

### Prélèvement et échantillonnage

#### Prélèvement des rejets liquides industriels de teinture chimique

Les prélèvements des eaux résiduaires ont été effectués pendant la période de janvier à avril 2023, aux émissaires de diverses usines textiles : fabrication de fermetures, lavage de jeans, confection et lavage de pull-over, ... (I1-I5). Les prélèvements ont été effectués à 5 points de déversement différents, situés dans la commune d'Ivato (18°50'55'' Sud et 47°30'10''Est), à 15 km d'Antananarivo, la capitale, sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar.

#### Prélèvement des rejets liquides d'un atelier de teinture végétale

Les rejets liquides issus de l'atelier de teinture végétale (IA) ont été recueillis à Arivonimamo, à 40 km d'Antananarivo dans un atelier de soie (19°01'55'' Sud, 47°15'10'' Est). Les artisans utilisent plusieurs produits lors de leurs activités : l'eau oxygénée pour le blanchiment, l'acide acétique pour l'ennoblissement, et la soude caustique pour la correction du pH des bains, en alternative, des savons ou de la lessive de cendres pour alcaliniser les bains de teinture. Pour teindre, ils utilisent des plantes tinctoriales cueillies localement, l'acétate de fer ou l'alun servent de mordants de teinture. Ces ateliers rejettent de l'eau chargée de tous ces adjuvants de traitement de la soie, mais aussi de l'eau colorée par les pigments naturels extraits des plantes.

#### Matériel biologique : poissons

Les poissons du genre *Tilapia nilotica* proviennent d'un centre piscicole. Il est situé dans la commune d'Ambatolampy Tsimahafotsy, près du Lac d'Ivato, en face de l'Aéroport (18°47'56'' Sud, 47°30'52''Est).

#### Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux

Les paramètres généraux : pH, conductivité électrique, ainsi que les paramètres globaux : MES, DCO et DBO<sub>5</sub> ont été mesurés. La mesure du pH et celle de la conductivité électrique ont été effectuées sur les lieux même de prélèvement à l'aide d'un pH mètre multifonction portable ISOLAB. Le reste des analyses a été effectué au laboratoire selon les normes

françaises NF T90-105, NF T90-101, NF T 90-103, pour les mesures des paramètres MES, DCO, DBO<sub>5</sub>, respectivement.

### **Test de toxicité sur des alevins de *Tilapia nilotica***

Le test de toxicité aiguë a été mené selon la « ligne directrice » n° 203 de l'OCDE pour les essais de produits chimiques [6] ; quelques modifications et ajustements ont été nécessaires, tout en respectant les critères de validité des essais. Ainsi, des bio essais de type statique de 24h-96h ont été réalisés sur des alevins de poissons *Tilapia nilotica* de 2 à 3 cm de longueur, de poids moyen de 2 g, dans un échantillon de rejet liquide de l'usine de lavage de jeans (I1) et un échantillon d'eau usée (IA) issu de l'atelier de teinture végétale. Deux essais parallèles ont été réalisés pour chaque type de rejet dans des seaux plastiques de 20 litres. Des dilutions successives avec de l'eau témoin ont été préparées pour accueillir les alevins. Partant de la concentration initiale du rejet étudié, huit (8) niveaux de concentration ont été préparés, les pourcentages de dilution étant (x%, v/v). L'eau de dilution constitue le témoin. La mise en charge est de 0,8g de poids de poisson/L. Sept (7) poissons ont ainsi été utilisés pour chaque concentration expérimentale. La température des eaux varie de 18°C à 21°C. Les signes cliniques sublétaux ont été minutieusement notés pendant toute la durée du test : perte d'équilibre, comportement natatoire anormal, fonction ventilatoire anormale etc. La concentration létale médiane CL<sub>50</sub> a été estimée par la méthode de régression, modèles proposés par le logiciel REGRESSI. Les résultats sont exprimés en CL<sub>50</sub> de 24h pour (I1), CL<sub>50</sub> de 96h pour (IA).

## **3- Résultats**

### **Résultats des analyses physico-chimiques des eaux**

L'échantillon (I1) a présenté une valeur de pH égale à 4,1, soit un rejet de très forte acidité. Le reste présente des valeurs de pH relativement neutres, avec une moyenne de 6,7. Les échantillons industriels ont tous présenté une conductivité largement supérieure à la norme, avec des valeurs allant de 964 µS/cm à 3410 µS/cm. Les valeurs de la MES variaient de 12 mg/L à 70 mg/L. Les valeurs de la DCO enregistrées ont été comprises entre 429 mg/L et 1900 mg/L avec une moyenne de 777 mg/L. Quant à la DBO<sub>5</sub>, la moyenne était de 216 mg/L pour des valeurs comprises entre 150 mg/L et 408 mg/L. Pour le rejet issu de l'atelier de teinture végétale, le pH a été de 7,3. Les autres paramètres globaux : 128 µS/cm pour la CE, 15 mg/L pour la MES, 39,27 mg/L pour la DBO<sub>5</sub> sont conformes aux normes, à l'exception

de la DCO qui est de 268 mgL<sup>-1</sup>. Les résultats des analyses physico-chimiques des rejets d'industries textiles sont rapportés dans le Tableau 1. Les diverses courbes de la

**Figure 1** présentent les écarts entre les valeurs obtenues pour les différents échantillons étudiés et la norme.

### Résultats tests de toxicité sur les alevins de *Tilapia nilotica*

#### Biotests sur (I1)

Le nombre de poissons morts est proportionnel à la concentration de l'effluent et à la durée d'exposition. La première mortalité a été observée après 4 heures d'exposition pour une concentration de 5,56% en effluents. Pour la même durée, une mortalité généralisée a été observée dans la cuve de concentration égale à 55,56%. L'exposition de 96 heures a provoqué l'extermination généralisée des poissons dans toutes les cuves même dans celle à la plus faible dose (1,39%). Aucun poisson mort n'a été enregistré dans la cuve témoin Le Tableau 2 présente les résultats obtenus. La concentration létale (CL<sub>50</sub>) estimée à partir de la courbe de régression est de 14,47% après 4 heures d'exposition. La valeur de la CL<sub>50</sub> a ensuite subi une décroissance exponentielle jusqu'à atteindre une valeur estimée à 4,13% après 24 heures d'exposition. Au-delà de 24 heures, il n'était plus possible de modéliser les courbes, du fait qu'à partir de 30 heures d'exposition, même à très faible concentration, la mortalité était devenue totale. L'évolution de la valeur estimée des CL<sub>50</sub> en fonction de la durée d'exposition de 4 à 24 heures est présentée dans le Tableau 3.

#### Biotests sur (IA)

Jusqu'à 96 heures d'exposition, sur les deux bioessais menés simultanément avec 7 poissons dans chacun des deux essais, soit pour un total de 14 poissons, pas un seul poisson n'était trouvé mort au bout de 96 heures, dans un bain contenant 100% d'effluent issu de l'atelier de teinture végétale. Aucun poisson n'a été non plus trouvé mort dans la solution témoin. Le Tableau 4 résume l'ensemble des résultats enregistrés.

#### 4- Discussion

##### Caractérisation physico-chimique des eaux

Les résultats témoignent des effets nocifs des rejets industriels utilisant les colorants chimiques de synthèse. Parmi les cinq paramètres mesurés, quatre dépassent de loin les seuils définis par la norme malagasy. En effet, la valeur de pH enregistrée pour l'échantillon (I1) est de 4,1. Selon Abouelouafa *et al*, une valeur de  $\text{pH} \leq 5$  affecte la croissance et la survie des microorganismes. Pour les autres échantillons (I2, I3, I4, I5 et IA), les valeurs sont proches de la neutralité. Ces rejets sont par conséquent acceptables pour l'irrigation [7]. Pour ce qui concerne la conductivité, qui traduit la présence de minéraux et des ions plus ou moins néfastes dans l'eau : l'échantillon (I1) ( $\text{CE} = 3410 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) est constitué par des eaux de très forte salinité, avec une valeur élevée de la conductivité (entre 2250 et 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), les échantillons (I2-I3-I4-I5) sont des eaux à forte salinité, qui correspond à des valeurs de la conductivité électrique comprises entre 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [8]. La turbidité de l'eau reflète la présence de matières en suspension. Plus une eau en contient, plus elle est dite turbide: cas des échantillons (I1) et (I2). La valeur fixée par la norme Malagasy est de 60 mg/L, mais selon l'OMS, citée dans les travaux de Abouelouafa, la présence de matières en suspension de plus de 30 mg/L peut entraîner le colmatage du sol et avoir des conséquences néfastes sur les cultures [7]. L'échantillon issu de l'atelier de teinture végétale (IA) est de faible turbidité et respecte les deux normes citées : OMS et locale. Les valeurs de la demande chimique en oxygène DCO sont largement supérieures à la norme pour tous les échantillons, y compris celui issu de l'atelier de teinture végétale. A cet égard, le rapport  $\text{DCO}/\text{DBO}_5$  exprime la dominance organique de la pollution et témoigne d'une faible biodégradabilité des effluents. Sur les 6 prélèvements, seuls les échantillons (I2) et (I4) sont constitués, *à priori*, de charges biologiquement dégradables. Par contre, les échantillons (I1), (I3) et (I5), ainsi que celui issu du rejet de l'atelier de teinture naturelle (IA) présentent, selon les travaux de Kapepula et Haddar, un ratio  $\text{DCO}/\text{DBO}_5$  supérieur à la limite de biodégradabilité, de 2,5 à 3 [9], [10]. La non biodégradabilité des effluents industriels peut provenir de la présence des détergents, des résidus de colorants, notamment des colorants azoïques, qui sont les plus largement utilisés dans les industries et qui sont très résistants à la biodégradation [4]. En 2014, des travaux semblables ont déjà été entrepris dans la même zone d'étude. Les résultats sont similaires à ceux rapportés, notamment pour l'échantillon (I1) [8].

Pour l'échantillon provenant de l'atelier de teinture végétale, le rapport  $\text{DCO}/\text{DBO}_5$  de 6,82 est très élevé. Le déversement de ces rejets dans les milieux naturels peut donc devenir

problématique. Il faut noter que les matières colorantes sont essentiellement constituées de composés phénoliques [10], [11]. Ceux-ci limitent la biodégradation naturelle de ces rejets liquides. Afin d'y remédier, il est conseillé de réutiliser jusqu'à 7 fois le même bain de teinture [10]. Cette méthode permet de réduire le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> de 7.79 à 3.06, valeur proche de la limite de biodégradabilité. L'exposition au soleil des effluents peut également dégrader les phénols par action de la lumière et l'élévation de la température [10], [13]. En résumé, les rejets liquides issus des activités de lavage et de délavage de jeans sont les plus chargés en substances polluantes. Les conséquences évidentes de l'évacuation de ces effluents dans le milieu naturel sont très diverses : l'eutrophisation, la sous-oxygénation et le mauvais goût des cours d'eau, la prolifération bactérienne, les odeurs pestilentielles et la coloration anormale des eaux. A long terme, la présence de composés non biodégradables peut entraîner une bioaccumulation des substances toxiques dans les tissus d'animaux ou des tissus humains et devenir mutagènes et carcinogènes [4]. Dès lors, un meilleur traitement des effluents de teinture, ainsi qu'un suivi rigoureux des normes sont absolument indispensables.

### **Tests de toxicité sur les alevins de *Tilapia nilotica***

Les effluents industriels issus d'activité de lavage et de délavage des jeans sont apparus fortement toxiques par rapport aux rejets hydriques provenant de l'unité de traitement de la soie utilisant la teinture naturelle. La toxicité de l'échantillon de rejet (I1) équivaut à la toxicité organique urbaine évaluée à Abidjan [14] sur le tilapia lagunaire *Sarotherodon melanotheron*. En effet, l'expérience décrite par l'auteur a montré que la toxicité augmente avec la teneur en effluent et en fonction du temps. La valeur de CL<sub>50</sub> de 5,85% après 20 à 24 heures d'exposition à l'effet des rejets industriels du collecteur principal de la zone industrielle de Yopougon a été rapportée [14]. Une autre étude menée en 1987 [15] a montré que les effluents du secteur textile figurent parmi les plus toxiques vis-à-vis des truites arc-en-ciel. L'auteur pense que l'appauvrissement en oxygène, la faible valeur du pH des effluents, ainsi que la présence d'éléments chimiques toxiques et des germes dans les rejets sont responsables de la toxicité. Le tout, par conséquent, altère la qualité des eaux dans lesquelles les poissons ne peuvent plus survivre. La demande chimique en oxygène relativement, provenant des éléments constituant les rejets, explique les perturbations observées chez les organismes aquatiques. Une dilution allant jusqu'à 71 fois n'a pas suffi à atténuer les effets toxiques des effluents. Pour les rejets hydriques de l'atelier de teinture végétale, les effluents semblent non toxiques vis-à-vis des poissons. Ce résultat est cohérent

avec celui des tests de toxicité aigüe des extraits aqueux de plantes tinctoriales réalisés sur des souris Swiss. En effet, aucun signe de toxicité ni de taux de mortalité n'ont été enregistrés jusqu'à une dose de 2000 mg/kg [16].

## 5- Conclusion

Les colorants sont omniprésents : dans notre alimentation, nos produits d'hygiène et cosmétiques, ainsi que sur nos vêtements. Néanmoins, en industries textiles, les produits chimiques synthétiques sont présents tout au long du cycle de fabrication, notamment lors de l'étape de la teinture et de l'ennoblissement.

La présente étude comparative sur les effets de la pollution liés aux colorants chimiques et aux colorants naturels a permis de mettre en évidence des différences significatives en faveur de l'utilisation des teintures naturelles. Les résultats ont mis en exergue les dangers et l'empreinte environnementale lourde engendrés par les effluents des industries textiles à base de teintures chimiques sur la qualité des eaux, ainsi que sur les organismes des milieux aquatiques. L'étude a apporté les preuves des avantages environnementaux lors de l'adoption de colorants naturels en réduisant la pollution, les déchets toxiques, les divers impacts néfastes sur l'écosystème, mais par-dessus tout, en préservant la santé humaine. Ainsi le retour aux colorants naturels en tant qu'alternative écologique constitue une solution adéquate pour une industrie plus responsable. A notre connaissance, la présente étude constitue une toute première dans le domaine des teintures textiles naturelles à Madagascar.

Promouvoir de façon continue la recherche et l'innovation dans ce domaine va nécessairement conduire vers un équilibre harmonieux entre les besoins de l'industrie, la préservation de notre environnement et, par voie de conséquence, vers l'atténuation des effets des changements climatiques.

## 6- Références

1. Abouelouafa, M. ; El Halouani, H. ; Kharboua, M. *Actes Inst. Agron. Vet. 2020, Vol. 22 (3), 143-150.*
2. Andriamanantena, M.; Danthu, P., Cardon, D. *et al. Chem Biodiversity. 2019 16, e1900442.*
3. Blaise, C. ; Costan, G. *Water Poll. 1987, Vol 22, NO 3, 385-402.*

4. Cardon, D. *Le monde des teintures naturelles* ; Belin : Paris (FR), 2003 ; p 256-389.
5. Christie, R.M. *Color Chemistry* ; 1st Ed. ; Royal Society of Chemistry : Cambridge (UK), 2015.
6. Christie, R.M. *Color Chemistry* ; 2nd Ed. ; Royal Society of Chemistry : Cambridge (UK), 2015.
7. Ethève, A. M. *Manuel de teinture naturelle : exemple de Madagascar. Soie et autres fibres* ; Cite : Antananarivo (MG), 2005.
8. Fagbohoun, L. *Etude chimique de colorants naturels et matériaux résineux traditionnels au Bénin dans le domaine artisanal* ; Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse : Avignon (FR), 2014.
9. Garcia, M. *Couleurs végétales : Teintures, Pigments et encres*, Edisud : Paris (FR), 2003.
10. Haddar, W. *Valorisation des déchets végétaux dans la teinture des fibres textiles* ; Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir : Monastir (TN), 2016.
11. IRFEDD. (2016). Les Cahiers de l'orientation «Matières et couleurs : une opportunité d'économie circulaire en Provence-Alpes-Côte d'Azur » [pdf]. <https://irfedd.fr/wp-content/uploads/2022/01/Les-Cahiers-du-Conseil-dorientation-Matieres-et-couleurs.pdf>.
12. Kapepula, L. ; Mateso, L. ; Shekani, A *et al. Afrique Sciences. 2015, 11(2), 195-204.*
13. Laloungier, L. *Material History Review. 1994,40.*
14. Mansour, H.B. ; Boughzala, O. ; Bridi, D. *et al. Revues des sciences de l'eau. 2011. 24(3), 209-238.*
15. Mehinagic, E. ; Bourles, E. ; Jourjon, F. *Arboriculture, 2011, Vol. 43 (6), 364–368.*
16. Ministère de la coopération et du développement. In *Memento de l'agronome* ; Imprimerie Chirat : Paris (FR), 1991 ; 4è Ed ; pp 134-186.
17. Ministère des affaires étrangères. In *Memento de l'agronome* ; GRET/CIRAD/Ministère des affaires étrangères : Paris (FR), 2003 ; 5è Ed ; pp 447-646.
18. Morin-Crini, N. ; Crini G. *Eaux industrielles contaminées : Réglementation, paramètres chimiques et biologiques & procédés d'épuration innovants* ; Presses universitaires de Franche-Comté : Besançon (FR), 2020.

19. OECD. (2019). Ligne directrice n°203 : Poisson, essai de toxicité aigue [pdf]. [https://www.oecd-ilibrary.org/fr/environment/essai-n-203-poisson-essai-de-toxicite-aigue\\_9789264069978-fr](https://www.oecd-ilibrary.org/fr/environment/essai-n-203-poisson-essai-de-toxicite-aigue_9789264069978-fr).
20. Raharitsiadiana H. M. ; Ranisaharivony B.N.G. ; Andriantsiferana M. *Plantes tinctoriales de Madagascar: Etudes phytochimiques et pharmacologiques préliminaires, teinture solide et non toxique*. Symposium international « Bien être et Santé ». CNARP : Antananarivo (MG), 2022.
21. Raharitsiadiana H. M. ; Ranisaharivony B.N.G. ; Andriantsiferana M. *Plantes tinctoriales de la tradition des hautes terres de Madagascar : Etudes ethnobotaniques, phytochimiques et valorisations dans le domaine de l'artisanat de la soie*. Actes des Journées des ISTs, 6è Edition. 2021.
22. Raharitsiadiana, H. M. *Etude en vue de l'obtention de la teinture indigo d'origine végétale pour la soie de Madagascar et Analyses chimique et structurale approfondies de l'indigotine, 1H,1'H[2,2']Bisindolylidène-3,3'-dione isolée de Indigofera arrecta Hochst de Madagascar*, Université d'Antananarivo : Antananarivo (MG), 2008.
23. Randrianantoandro, T.L. ; *IMJST, 2022, Vol. 7 Issue 5*.
24. Randrianantoandro, T.L. *Incidences des effluents industriels textiles sur la riziculture dans la plaine de Betsimitatatra (Antananarivo)*, Université d'Antananarivo : Antananarivo (MG), 2007, pp39-109.
25. Randrianantoandro, T.L. ; Rakotobe, L. ; Razafimandimby, H. *et al. Afrique Sciences. 2014, 10(4), 45-60*.
26. Sawsane. (2023). C'est quoi le problème des teintures ? [html]. <https://www.wedressfair.fr/blog/teinture-et-procedes-de-transformation>.
27. Tidou, A.S. ; Atse, B.C. ; Yapo, O.B. *et al. Science et technique, Sciences naturelles et agronomie. 2008, Vol. 30, n°2, 57-66*.

## 7- Tableaux

Tableau 1: Résultats des analyses physico-chimiques des effluents liquides

Usine/site	Couleur/ Aspect	pH	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	MES ( $\text{mg}/\text{L}$ )	DCO ( $\text{mg}/\text{L}$ )	DBO <sub>5</sub> ( $\text{mg}/\text{L}$ )	Rapport DCO/ DBO <sub>5</sub>
I1	Bleu, trouble	4,1	3410	780	1900	408	4,66
I2	Brun, trouble	6,7	964	250	569	270	2,11
I3	Clair, trouble	6,8	1330	45	1012	250	4,05
I4	Clair, trouble	6	1200	25	429	170	2,52
I5	Clair, légèrement trouble	9,9	1112	12	600	150	4
Eau issue de l'atelier de teinture naturelle	Jaune, limpide	7,3	128	15	268	39,27	6,82
Norme Malagasy		6,00- 9,00	200	60	150	50	

Tableau 2: Mortalité observée en fonction de la durée d'exposition des poissons et la concentration en effluents de colorants chimiques

Durée de l'exposition	Concentration en effluent (%) / nombre moyen de poissons morts pour les deux essais								
	0	1,39	2,78	5,56	8,33	11,11	13,89	27,78	55,56
1	0	0	0	0	0	1	2	5	5
4	0	0	0	1	1,5	3	3,5	6	7
7	0	0	0	1	3	5	6	7	7
12	0	0	1,5	2,5	5,5	6	6,5	7	7
24	0	1	2	3,5	6	7	7	7	7
30	0	1	3	4,5	7	7	7	7	7
36	0	1,5	4	7	7	7	7	7	7
42	0	2,5	6	7	7	7	7	7	7
48	0	2	7	7	7	7	7	7	7
54	0	4	7	7	7	7	7	7	7
60	0	5	7	7	7	7	7	7	7
72	0	6	7	7	7	7	7	7	7
84	0	6	7	7	7	7	7	7	7
96	0	7	7	7	7	7	7	7	7

Tableau 3: Evolution de la valeur de la concentration létale de l'effluent de colorants chimiques en fonction de la durée d'exposition de 4 heures à 24 heures

Durée d'exposition (heures)	CL <sub>50</sub> (v/v% d'effluent)
4	14,47
7	9,63
12	5,45
24	4,13

Tableau 4: Composition en effluent des bioessais conduits avec les rejets hydriques issus de l'atelier de teinture végétale et taux de mortalité au bout de 96 heures d'exposition

	Concentration en effluent (%)							
	0	22,22	44,44	55,56	66,67	77,78	88,89	100
<b>Volume effluent</b>	0	4	8	10	12	14	16	18
<b>Volume eau de dilution</b>	18	14	10	8	6	4	2	0
<b>Nombre de poisson mort</b>	0	0	0	0	0	0	0	0

## 8- Figure

Figure 1: Caractéristiques physico-chimiques des rejets issus des usines textiles de teinture chimique, comparés aux valeurs de la norme.