

## INFORMATION TO USERS

This manuscript has been reproduced from the microfilm master. UMI films the text directly from the original or copy submitted. Thus, some thesis and dissertation copies are in typewriter face, while others may be from any type of computer printer.

**The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.** Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleedthrough, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send UMI a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

Oversize materials (e.g., maps, drawings, charts) are reproduced by sectioning the original, beginning at the upper left-hand corner and continuing from left to right in equal sections with small overlaps. Each original is also photographed in one exposure and is included in reduced form at the back of the book.

Photographs included in the original manuscript have been reproduced xerographically in this copy. Higher quality 6" x 9" black and white photographic prints are available for any photographs or illustrations appearing in this copy for an additional charge. Contact UMI directly to order.

UMI<sup>®</sup>

Bell & Howell Information and Learning  
300 North Zeeb Road, Ann Arbor, MI 48106-1346 USA  
800-521-0600



## **NOTE TO USERS**

**This reproduction is the best copy available**

**UMI**



# **Systématique du genre *Trema* en Afrique occidentale**

 Luc St-Laurent

Thèse soumise à l'École des Études Supérieures et de la Recherche  
en vue de l'obtention du diplôme de Maîtrise ès Sciences

Faculté des Sciences  
Département de Biologie  
Université d'Ottawa  
Ottawa, Ontario

Décembre 1998



**National Library  
of Canada**

**Acquisitions and  
Bibliographic Services**

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

**Bibliothèque nationale  
du Canada**

**Acquisitions et  
services bibliographiques**

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file Votre référence*

*Our file Notre référence*

**The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.**

**The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.**

**L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.**

**L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.**

0-612-38767-4

**Canada**

«Le premier pas vers la sagesse est de connaître les choses elles-mêmes; cette notion consiste à avoir une idée réelle des objets; les objets étant distingués et connus en les classifiant méthodiquement et en leur donnant des noms appropriés. Ainsi, la classification et l'assignation de noms sera la base de notre science.»

«Ceux de nos scientifiques, qui ne peuvent classifier la variation en de bonnes espèces, l'espèce en des genres naturels, les genres en familles, et soutiennent être docteurs de cette science, trompent les autres ainsi qu'eux-mêmes. Car tous ceux qui ont réellement fondé les bases des sciences naturelles, ont eu à garder cela à l'esprit.»

Carolus Linnaeus

10<sup>e</sup> et 11<sup>e</sup> observations sur  
les trois royaumes de la nature

*Systema Naturae*, 1735

## RÉSUMÉ

Plusieurs espèces du genre *Trema* ont été identifiées précédemment en Afrique mais la grande variation morphologique apparemment indépendante de facteurs environnementaux fait en sorte qu'une seule espèce est aujourd'hui reconnue sur le continent, *Trema guineensis* (syn. *T. orientalis*). L'observation sur le terrain au Togo et dans les pays avoisinants d'Afrique de l'ouest corrobore cette grande variation phénotypique mais pas l'absence de ségrégation dans ce complexe. Une analyse numérique a été menée pour évaluer le nombre de taxa présents dans cette zone. Les résultats suggèrent l'existence de trois groupes distincts. La micromorphologie et la densité des trichomes foliaires appuient l'existence de ces trois groupes. Les extraits foliaires de chaque groupe ont des activités différentes contre une espèce d'insecte et une de nématode mais pas contre un virus. Trois espèces pourraient être reconnues au Togo et dans les pays avoisinants: *T. orientalis*, *T. africana* et *T. nitens*. Une clef d'identification est incluse.



## ABSTRACT

Many species and varieties of the genus *Trema* have been previously identified in Africa but the wide morphological variation apparently independent of environmental factors has resulted in today's recognition of only one species on the continent, *Trema guineensis* (syn. *T. orientalis*). Field observations in Togo and neighboring countries of West Africa confirms this high phenotypic variation but not the asserted lack of segregation within that complex. A numerical taxonomic investigation was carried out to assess the number of taxa present in the area. The results suggest the existence of three distinct groups. Leaf trichome micromorphology and density agree with the existence of those three clusters. Leaf extracts of each group show different activities against one insect and one nematode species but not againsts a virus. Three species might be recognized in Togo and the neighboring countries: *T. orientalis*, *T. africana* and *T. nitens*. A key to the species is included.

## REMERCIEMENTS

Merci tout d'abord à Robert Kaman et Nadine Beloin pour leur aide incessante lors des récoltes au Togo ainsi qu'au Ghana et en Côte-d'Ivoire. Le support et l'aide apportée par Koffi Akpagana ainsi que toute l'équipe de la Faculté des Sciences de l'Université du Bénin, Lomé, Togo, lors de mon séjour au Togo, a été très appréciée.

Je remercie Ed Brugginck pour son assistance lors des essais de croissance aux serres de l'Université Carleton d'Ottawa; Ann Fook Yang pour son aide lors des observations par microscopie électronique aux laboratoires d'Agriculture et Agro-Alimentaire Canada de la Ferme Expérimentale, Ottawa ainsi que Lynn Gillespie et Laurie Consaul du Musée Canadien de la Nature pour leur assistance à la création de cartes par ordinateur.

Les conservateurs des herbiers suivants sont remerciés pour m'avoir donné accès aux spécimens et pour les prêts qu'ils ont bien voulu m'accorder: Herbarium National de Belgique, Meise (BR), Herbarium de l'Université de Copenhague (C), Herbarium d'Agriculture et Agro-Alimentaire Canada, Ottawa (DAO), Chicago Field Museum (F), Herbarium de l'Université du Ghana, Legon (GC), Royal Botanic Garden, Kew (K), Missouri Botanical Garden, St-Louis (MO), Herbarium Marie-Victorin, Montréal (MT), Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris (P), Herbarium Rolland-Germain, Sherbrooke (SFS) et Herbarium de l'Université Agricole de Wageningen, Pays-Bas (WAG).

Cette entreprise a été rendue possible par des bourses accordées par le Fonds des Chercheurs et Aide à la Recherche du Québec (FCAR) et par le Conseil de la Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG). L'Entraide Universitaire Mondiale du Canada (EUMC) et l'Agence

Canadienne de Développement International (ACDI) doivent être remerciées pour leur assistance financière lors du séjour au Togo.

Je remercie finalement John T. Arnason et Bernard R. Baum, mes superviseurs, pour leur confiance, leur soutien sans limite et leurs commentaires constructifs apportés tout au long de la réalisation de ce travail. Mes meilleurs sentiments leurs sont acquis pour toujours.

## TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| RÉSUMÉ .....                                                                                                      | ii   |
| ABSTRACT .....                                                                                                    | iii  |
| REMERCIEMENTS .....                                                                                               | iv   |
| TABLE DES MATIÈRES .....                                                                                          | vi   |
| LISTE DES TABLEAUX .....                                                                                          | xi   |
| LISTE DES FIGURES .....                                                                                           | xiii |
| GLOSSAIRE .....                                                                                                   | xvi  |
| CHAPITRE PREMIER. INTRODUCTION .....                                                                              | 1    |
| 1.1. Mise en situation .....                                                                                      | 1    |
| 1.2. Problématique .....                                                                                          | 2    |
| 1.3. Objectifs .....                                                                                              | 5    |
| 1.4. Hypothèses .....                                                                                             | 8    |
| CHAPITRE 2. <i>TREMA GUINEENSIS</i> : REVUE DE LITTÉRATURE .....                                                  | 12   |
| 2.1. Taxonomie .....                                                                                              | 12   |
| 2.1.1. Position taxonomique du genre <i>Trema</i> .....                                                           | 12   |
| 2.1.2. Histoire des espèces présentes en Afrique (excluant Madagascar)<br>appartenant au genre <i>Trema</i> ..... | 14   |
| 2.2. Variation morphologique existante au Togo et dans les régions avoisinantes d'Afrique<br>de l'ouest .....     | 20   |
| 2.3. Écologie .....                                                                                               | 23   |

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4. Composition chimique . . . . .                         | 25        |
| 2.5. Utilisations traditionnelles non-médicinales . . . . . | 29        |
| 2.6. Utilisations ethnomédicinales . . . . .                | 30        |
| <b>CHAPITRE 3. LE TOGO, MILIEU NATUREL . . . . .</b>        | <b>32</b> |
| 3.1. Zone I: Les plaines du nord . . . . .                  | 38        |
| 3.1.1. Relief, sols, hydrographie . . . . .                 | 38        |
| 3.1.2. Climat . . . . .                                     | 40        |
| 3.1.3. Floristique . . . . .                                | 41        |
| 3.2. Zone II: Les montagnes du nord-Togo . . . . .          | 41        |
| 3.2.1. Relief, sol, hydrographie . . . . .                  | 41        |
| 3.2.2. Climat . . . . .                                     | 43        |
| 3.2.3. Floristique . . . . .                                | 43        |
| 3.3. Zone III: Les plaines du centre . . . . .              | 44        |
| 3.3.1. Relief, sol, hydrographie . . . . .                  | 44        |
| 3.3.2. Climat . . . . .                                     | 46        |
| 3.3.3. Floristique . . . . .                                | 46        |
| 3.4. Zone IV: Montagnes du sud-ouest . . . . .              | 49        |
| 3.4.1. Relief, sol, hydrographie . . . . .                  | 49        |
| 3.4.2. Climat . . . . .                                     | 49        |
| 3.4.3. Floristique . . . . .                                | 51        |
| 3.5. Zone V: La zone côtière . . . . .                      | 53        |
| 3.5.1. Relief, sols, hydrographie . . . . .                 | 53        |
| 3.5.2. Climat . . . . .                                     | 53        |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.3. Floristique .....                                                  | 55 |
| CHAPITRE 4. ANALYSE DE TAXONOMIE NUMÉRIQUE DES <i>TREMA</i> (ULMACEAE)    |    |
| D'AFRIQUE OCCIDENTALE .....                                               | 59 |
| 4.1. INTRODUCTION .....                                                   | 60 |
| 4.2. MATERIALS AND METHODS .....                                          | 62 |
| 4.2.1. Specimens Collection and Characters Scoring .....                  | 62 |
| 4.2.2. Morphological Data and Analyses .....                              | 62 |
| 4.2.3. Environmental Data and Analyses .....                              | 68 |
| 4.2.4. Growth experiment .....                                            | 69 |
| 4.3. RESULTS .....                                                        | 70 |
| 4.3.1. Morphological Data and Analyses .....                              | 70 |
| 4.3.2. Environmental Data and Analyses .....                              | 82 |
| 4.3.3. Growth experiment .....                                            | 82 |
| 4.4. DISCUSSION .....                                                     | 84 |
| 4.5. KEY TO THE SPECIES OF THE GENUS <i>TREMA</i> IN TOGO, WEST AFRICA .. | 89 |
| 4.6. TAXONOMIC TREATMENT .....                                            | 90 |
| 4.6.1. <i>Trema africana</i> .....                                        | 90 |
| 4.6.1.1. Habitat .....                                                    | 93 |
| 4.6.1.2. Elevation .....                                                  | 93 |
| 4.6.1.3. Vernacular names .....                                           | 94 |
| 4.6.1.4. Representative specimens examined .....                          | 94 |
| 4.6.2. <i>Trema orientalis</i> .....                                      | 95 |
| 4.6.2.1. Habitat .....                                                    | 98 |

|                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.6.2.2. Elevation . . . . .                                                   | 98         |
| 4.6.2.3. Vernacular names . . . . .                                            | 98         |
| 4.6.2.4. Representative specimens examined . . . . .                           | 99         |
| 4.6.3. <i>Trema nitens</i> . . . . .                                           | 100        |
| 4.6.3.1. Habitat . . . . .                                                     | 101        |
| 4.6.3.2. Elevation . . . . .                                                   | 102        |
| 4.6.3.3. Vernacular names . . . . .                                            | 102        |
| 4.6.3.4. Representative specimens examined . . . . .                           | 102        |
| <b>CHAPITRE 5. MICROMORPHOLOGIE ET DENSITÉS DES TRICHOMES FOLIAIRES</b>        |            |
| <b>CHEZ LES <i>TREMA</i> (ULMACEAE) DU TOGO, AFRIQUE OCCIDENTALE . . . . .</b> | <b>103</b> |
| 5.1. INTRODUCTION . . . . .                                                    | 104        |
| 5.2. MATERIAL AND METHODS . . . . .                                            | 106        |
| 5.3. RESULTS . . . . .                                                         | 113        |
| 5.3.1. Unicellular trichome type . . . . .                                     | 113        |
| 5.3.2. Trichome densities . . . . .                                            | 114        |
| 5.3.3. Number of cells composing multicellular trichome's stalk . . . . .      | 119        |
| 5.4. DISCUSSION . . . . .                                                      | 121        |
| 5.4.1. Unicellular trichome types . . . . .                                    | 121        |
| 5.4.2. Trichome densities . . . . .                                            | 122        |
| 5.4.3. Number of cells composing multicellular trichomes' stalk . . . . .      | 123        |
| <b>CHAPITRE 6. ACTIVITÉS INSECTICIDE, NÉMATOCIDE ET ANTIVIRALE DE TROIS</b>    |            |
| <b>ESPÈCES DE <i>TREMA</i> TOGOLAISES . . . . .</b>                            | <b>124</b> |
| 6.1. INTRODUCTION . . . . .                                                    | 125        |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 6.2. MATERIAL AND METHODS .....      | 127 |
| 6.2.1. Insect bio-assays .....       | 127 |
| 6.2.2. Nematode bio-assay .....      | 128 |
| 6.2.3. Antiviral bio-assay .....     | 129 |
| 6.2.4. Analysis .....                | 130 |
| 6.3. RESULTS AND DISCUSSION .....    | 131 |
| CHAPITRE 7 CONCLUSION GÉNÉRALE ..... | 137 |
| RÉFÉRENCES .....                     | 145 |
| ANNEXES .....                        | 157 |
| Appendix 1 .....                     | 157 |
| Appendix 2 .....                     | 164 |
| Appendix 3 .....                     | 166 |



## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1. Composition chimique de <i>Trema orientalis</i> en Inde .....                                                                                                                                                                                                   | 27  |
| Tableau 2. Caractères utilisés lors de l'analyse de taxonomie numérique du complexe-spécifique<br><i>Trema guineensis</i> .....                                                                                                                                            | 64  |
| Tableau 3. Distance de Mahalanobis au carré entre les trois cliques résultant de l'analyse<br>canonique discriminante effectuée en utilisant 114 spécimens et 40 caractères .....                                                                                          | 75  |
| Tableau 4. Statistiques F univariées et leur probabilité respective montrant l'influence relative de<br>chaque caractère dans la discrimination .....                                                                                                                      | 76  |
| Tableau 5. Résultats de l'analyse canonique de classification de 114 spécimens de <i>Trema</i><br><i>guineensis</i> basée sur 40 caractères .....                                                                                                                          | 79  |
| Tableau 6. Spécimens utilisés lors de l'étude de la micromorphologie et de la densité des<br>trichomes foliaires de <i>Trema africana</i> , <i>Trema orientalis</i> et <i>Trema nitens</i> .....                                                                           | 107 |
| Tableau 7. Fréquence d'observations des types de trichome pour <i>Trema africana</i> ,<br><i>Trema orientalis</i> et <i>Trema nitens</i> .....                                                                                                                             | 116 |
| Tableau 8. Résultat de l'analyse non-paramétrique de Kruskal-Wallis pour la densité de trichomes<br>et le nombre de cellules composant le pied des trichomes multicellulaires entre <i>Trema</i><br><i>africana</i> , <i>Trema orientalis</i> et <i>Trema nitens</i> ..... | 117 |
| Tableau 9. Résultats de l'analyse deux-à-deux de Wilcoxon pour la densité de trichomes et le<br>nombre de cellules composant le pied des trichomes multicellulaires entre <i>Trema africana</i> ,<br><i>Trema orientalis</i> et <i>Trema nitens</i> .....                  | 118 |

|                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 10. Valeurs de CL <sub>50</sub> et intervalles de confiance pour <i>Trema africana</i> , <i>Trema orientalis</i> et <i>Trema nitens</i> lors de bio-essais insecticides contre le moustique <i>Aedes atropalpus</i> . . . . . | 133 |
| Tableau 11. Valeurs de CL <sub>50</sub> et intervalles de confiance pour <i>Trema africana</i> , <i>Trema orientalis</i> et <i>Trema nitens</i> lors de bio-essais nématocides contre le nématode <i>Caenorhabditis elegans</i> .     | 134 |
| Tableau 12. Résultats des bio-essais antiviraux contre le virus herpes simplex de type I . . . . .                                                                                                                                    | 135 |

## LISTE DES FIGURES

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1. Position systématique du genre <i>Trema</i> .....                                  | 13 |
| Figure 2. Distribution du genre <i>Trema</i> dans le monde .....                             | 15 |
| Figure 3. Spécimen de <i>Trema guineensis</i> , type à petites feuilles (pf) .....           | 21 |
| Figure 4. Spécimen de <i>Trema guineensis</i> , type à grandes feuilles vertes (Gfv) .....   | 21 |
| Figure 5. Specimen de <i>Trema guineensis</i> , type à grandes feuilles blanches (Gfb) ..... | 21 |
| Figure 6. Structure de l'alcool triterpénoïde trématol .....                                 | 28 |
| Figure 7. Division du Togo en cinq zones écologiques .....                                   | 34 |
| Figure 8. Données de pluviométrie pour le Togo .....                                         | 35 |
| Figure 9. Données d'évapotranspiration potentielle pour le Togo .....                        | 36 |
| Figure 10. Données de température pour le Togo .....                                         | 37 |
| Figure 11. Les plaines du nord ou savane soudanaise (zone I) .....                           | 39 |
| Figure 12. Les plaines du nord ou savane soudanaise (zone I) .....                           | 39 |
| Figure 13. Forêt-galerie .....                                                               | 42 |
| Figure 14. Les montagnes du nord-Togo (zone II) .....                                        | 42 |
| Figure 15. Les plaines du centre ou savane guinéenne (zone III ) .....                       | 45 |
| Figure 16. Les plaines du centre ou savane guinéenne (zone III ) .....                       | 45 |
| Figure 17. Plantation de teck dans la zone III .....                                         | 48 |
| Figure 18. Feu de brousse .....                                                              | 48 |
| Figure 19. Les montagnes du sud-ouest (zone IV) .....                                        | 50 |
| Figure 20. Cascade en zone IV .....                                                          | 50 |

|                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 21. Forêt humide dans les montagnes du sud (zone IV) . . . . .                                                                                                     | 52  |
| Figure 22. Problème dû aux feux de brousse . . . . .                                                                                                                      | 52  |
| Figure 23. Plage sur le littoral togolais (zone V) . . . . .                                                                                                              | 54  |
| Figure 24. La rivière Mono au niveau d'Afanyagan (zone V) . . . . .                                                                                                       | 54  |
| Figure 25. Lagune d'Aného (zone V) . . . . .                                                                                                                              | 56  |
| Figure 26. Savane guinéenne en zone V . . . . .                                                                                                                           | 56  |
| Figure 27. Forêt intacte en zone V . . . . .                                                                                                                              | 58  |
| Figure 28. Carte du Togo indiquant les lieux de récolte des spécimens et la distribution de chaque<br>espèce . . . . .                                                    | 63  |
| Figure 29. Résultat de l'analyse de cliques MODECLUS . . . . .                                                                                                            | 71  |
| Figure 30. Graphique de discrimination de 114 spécimens de <i>Trema guineensis</i> basé sur 40<br>caractères . . . . .                                                    | 74  |
| Figure 31. <i>Box-and-Whiskers plots</i> de quelques caractères participant le plus à la discrimination<br>. . . . .                                                      | 80  |
| Figure 32. <i>Box-and-Whiskers plots</i> de quelques autres caractères participant le plus à la<br>discrimination . . . . .                                               | 81  |
| Figure 33. Micrographie à balayage d'une trichome foliaire micropapillé chez <i>Trema africana</i>                                                                        | 115 |
| Figure 34. Micrographie à balayage d'un trichome foliaire micropapillé à la base seulement chez<br><i>Trema africana</i> . . . . .                                        | 115 |
| Figure 35. Micrographie d'un trichome foliaire lisse chez <i>Trema orientalis</i> . . . . .                                                                               | 115 |
| Figure 36. Micrographie montrant des trichomes foliaires lisses mal réhydratés et la présence des<br>deux types de trichomes foliaires chez <i>Trema nitens</i> . . . . . | 115 |

|                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 37. Graphiques à barre des densités de trichomes foliaires unicellulaire et multicellulaires et du nombre de cellules composant le pied des trichomes foliaires multicellulaires . . . . .                 | 120 |
| Figure 38. Représentation graphique du log (mortalité / survie) pour des insectes ( <i>Aedes atropalpus</i> ) en fonction du log (concentration) d'extrait de feuilles de <i>Trema africana</i> . . .             | 132 |
| Figure 39. Représentation graphique du log (mortalité / survie) pour des insectes ( <i>Aedes atropalpus</i> ) en fonction du log (concentration) d'extrait de feuilles de <i>Trema orientalis</i> . .             | 132 |
| Figure 40. Représentation graphique du log (mortalité / survie) pour des insectes ( <i>Aedes atropalpus</i> ) en fonction du log (concentration) d'extrait de feuilles de <i>Trema nitens</i> . . . . .           | 132 |
| Figure 41. Représentation graphique du log (mortalité / survie) pour des nématodes ( <i>Caenorhabditis elegans</i> ) en fonction du log (concentration) d'extrait de feuilles de <i>Trema africana</i> . . . . .  | 132 |
| Figure 42. Représentation graphique du log (mortalité / survie) pour des insectes ( <i>Caenorhabditis elegans</i> ) en fonction du log (concentration) d'extrait de feuilles de <i>Trema orientalis</i> . . . . . | 132 |
| Figure 43. Représentation graphique du log (mortalité / survie) pour des insectes ( <i>Caenorhabditis elegans</i> ) en fonction du log (concentration) d'extrait de feuilles de <i>Trema nitens</i> . . . . .     | 132 |

## GLOSSAIRE

! — Symbole utilisé pour indiquer que le spécimen d'herbier identifié a été examiné par l'auteur.

*s.n.* — Latin *sine numerus*, sans numéro. Abbréviation utilisée pour indiquer que le spécimen en question n'a pas été numéroté par le collecteur.

ETP (*PET* en anglais) — Evapotranspiration potentielle (*potential evapotranspiration*). Dans le présent ouvrage, selon la méthode de Penman (voir Swami 1973).

UTO (*OTU* en anglais) — Unité taxonomique opérationnelle (*operational taxonomic unit*) entité étudiée (individu, espèces, genres...) lors d'une analyse taxonomique phénétique.

CL<sub>50</sub> (*LC<sub>50</sub>* en anglais) — Concentration létale (*lethal concentration*). Concentration nécessaire pour tuer 50% des organismes ciblés.

EtOH — Éthanol, alcool éthylique.

Abbréviations des herbiers selon l'Index Herbariorum, 8e édition (Holmgren *et al.* 1990).

|      |                                                        |
|------|--------------------------------------------------------|
| C    | Université de Copenhague, Danemark                     |
| BR   | Herbier National de Belgique, Meise, Belgique          |
| GC   | Université Legon, Accra, Ghana                         |
| TOGO | Herbier National du Togo, Lomé                         |
| P    | Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France    |
| K    | Royal Botanic Garden, Kew, Richmond, Surrey, UK        |
| DAO  | Agriculture et Agro-Alimentaire Canada, Ottawa, Canada |
| MO   | Missouri Botanical Garden, St-Louis, Missouri, USA     |
| WAG  | Université Agricole de Wageningen, Pays-Bas            |

SFS ..... Herbar Rolland-Germain, Université de Sherbrooke, Canada  
MT ..... Herbar Marie-Victorin, Montréal, Canada  
F ..... Chicago Field Museum, Illinois, USA

## CHAPITRE PREMIER

### INTRODUCTION

#### 1.1. *Mise en situation*

On estime que jusqu'à 28% des espèces végétales sur terre sont ou ont été utilisées médicinalement (Farnsworth et Soejarto 1991). Ces plantes ont été utilisées depuis des temps immémoriaux en médecine traditionnelle dans le traitement de divers problèmes de santé et ont ainsi passées le test des années. Aujourd'hui encore, 80% de la population des pays en voie de développement dépendent principalement de la médecine traditionnelle pour leurs besoins médicaux (Farnsworth *et al.* 1985).

Dans ces pays, l'utilisation de plantes médicinales issues de la pharmacopée locale représente donc une solution abordable économiquement et efficace dans le traitement des maux les plus fréquemment rencontrés et très souvent dévastateurs (*e.g.* la diarrhée infantile, le diabète chronique insulino-indépendant, le paludisme, *etc.*). Malgré son importance médicinale, la biodiversité tropicale africaine a été très peu étudiée. Nos connaissances sont particulièrement déficientes en taxonomie, en phytochimie et en pharmacologie.

Afin d'encourager les recherches dans ces directions, l'Agence canadienne de développement international (ACDI) a mise sur pied un programme de renforcement institutionnel en matière technologique en Afrique francophone (le PRIMTAF) dans le but entre autre de favoriser les recherches sur les plantes médicinales et de permettre la commercialisation de produits standardisés et sûrs. Ce projet se déroule en collaboration entre l'Université d'Ottawa et l'Université du Bénin,



à Lomé, Togo et la direction est partagée entre les Drs. M. Gbeassor, doyen de la Faculté des Sciences de l'Université du Bénin et J.T. Arnason, professeur à l'Université d'Ottawa. Les objectifs du projet sur les plantes médicinales du PRIMTAF peuvent se résumer à trois principaux plans d'action: 1) favoriser la recherche sur les plantes togolaises possédant une activité médicinale potentielle, 2) effectuer des recherches sur ces espèces de façon à quantifier leur efficacité médicinales et ultimement, 3) créer une unité-pilote de production de phytomédicaments à base de plantes locales bon marché, pour les population locales.

## *1.2. Problématique*

L'idée à l'origine du présent travail est la mise en valeur des espèces végétales de la région du Togo en Afrique de l'ouest possédant une ou plusieurs vertus médicinales. Un tel travail est relativement simple à compléter; il ne suffit que de vérifier l'efficacité d'une espèce intéressante parce qu'utilisée traditionnellement ou encore parce que d'autres études scientifiques en décrivent la composition chimique ou celle d'une espèce apparentée, et de conclure ou non au bien fondé de poursuivre les recherches jusqu'à une éventuelle publication de résultats neufs ou encore, dans le cas décrit précédemment, jusqu'à la production semi-industrielle de phytomédicaments. On oublie cependant trop souvent la prémisse de base pour un tel travail qui est qu'il faut être capable de nommer le matériel sur lequel on travaille; il faut pouvoir identifier le plus précisément possible la ou les espèces que l'on projette d'étudier. Sans cette précaution, il devient facile de prendre une espèce similaire, mais complètement inefficace pour celle que l'on recherche. Un bon exemple des problèmes engendrés par de mauvaises connaissances taxonomiques dans l'étude des plantes médicinales et

démontrant son importance dans ce domaine concerne le genre *Echinacea* (Asteraceae: Heliantheae) du middle-west américain. Les espèces du genre *Echinacea* possèdent des vertues médicinales connues depuis longtemps par les amérindiens. Vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, leur usage s'est répandue rapidement dans le reste de la population et aujourd'hui, elles constituent un des produits naturels à base de plante les plus utilisés, particulièrement en Allemagne (Foster 1991). Trois espèces sont notamment utilisées par les producteurs de phytomédicaments: *E. purpurea* (L.) Moench, *E. angustifolia* DC et *E. pallida* (Nutt.) Nutt. *E. angustifolia* et *E. pallida* se distinguent morphologiquement par certains caractères plus ou moins évidents tels que la taille, la couleur du pollen, la longueur des ligules et la présence de canaux à huile dans la tige (McGregor 1968). Ces deux espèces possèdent également une composition chimique caractéristique qui en permet la distinction. *E. angustifolia* est riche en isobutylamides alors que ces composés se retrouvent à une concentration 10 fois moindre chez *E. pallida*. Inversement, *E. pallida* possède spécifiquement des composés polyacétylènes, des cétoalcynes et cétoalcènes, qui sont absents chez *E. angustifolia* (Bauer et Wagner 1991). Les deux plantes sont souvent utilisées à des fins similaires, le reste de leur composition chimique étant comparable, mais les recherches pharmacologiques ne sont pas complètes et ne permettent pas encore de dire si l'une ou l'autre peut ou non être plus efficace contre certaines pathologies. La variation dans leur composition chimique pourrait mener à des utilisations différentes. On sait déjà que les isobutylamides présents chez *E. angustifolia* sont efficaces comme insecticides, une propriété qui risque de ne pas être observée chez *E. pallida*, qui n'en possède pas (Bauer et Wagner 1991). *E. angustifolia* et *E. pallida* ont été très confondues entre-elles de par le passé, malgré ces différences. Il est très important de pouvoir les identifier sans aucun doute pour permettre

l'homologation du phytomédicament et assurer la sécurité des consommateurs. C'est grâce à la taxonomie morphologique et chimique que ces doutes peuvent être levés.

Une espèce végétale que l'on pourrait qualifier de «stable» en est donc une dont les caractères distinctifs en permettant l'identification sont précis, c'est-à-dire bien circonscrits et reconnus par plusieurs scientifiques faisant autorité en la matière. La précision de ces caractères permettra une identification facilitée. À l'opposé, une espèce dont les caractères sont imprécis rendra le travail d'identification plus ardu voire impossible. Un tel cas suggère fortement l'existence de plusieurs espèces, sous-espèces ou variétés dans ce complexe-spécifique. Le taxonomiste a le choix de ne reconnaître qu'une seule espèce englobant toute la variation observée — et ainsi contraindre la communauté scientifique à passer outre une partie de la variation possiblement d'intérêt — ou bien d'étudier cette variation de façon à mettre en évidence de quelle façon elle s'ordonne, à quantifier les discontinuités (ou *gaps*, pour reprendre le terme utilisé par Sokal et Sneath (1963)) présentes dans la distribution des caractères descriptifs, bref de déterminer par combien d'espèce, de sous-espèces ou de variétés cette variation peut être expliquée. Une fois leurs caractères bien précisés, dans les cas où cela est possible, ces taxa pourront être identifiés, étudiés et utilisés rationnellement. Dans certains cas, les caractères demeurent très variables mais continus, menant le taxonomiste à conclure dans le meilleur des cas à un mauvais choix de caractères descriptifs ou d'approche méthodologique (qui est, nous ne devons pas l'oublier, d'une importance primordiale), dans le pire, à une singularité taxonomique défiante.

Après avoir contacté le professeur K. Akpagana, directeur du Département de Botanique et conservateur du Jardin Botanique de l'Université du Bénin, nous nous sommes mis d'accord pour étudier conjointement la variation existante chez *Trema guineensis*, une espèce d'Ulmacées commune

en Afrique tropicale. Cette espèce répond parfaitement aux critères associés à une espèce instable en exhibant une très grande variation dans les caractères morphologiques en permettant l'identification — et potentiellement aussi dans certains autres caractères cryptiques ne tombant pas immédiatement sous les sens. De plus, et ceci est un signe d'incertitude taxonomique, les différents auteurs ayant travaillé sur le sujet de par le passé ne s'entendent pas sur le nombre exact d'espèces présentes ni sur la nomenclature assignée à cette ou ces espèces. Car évidemment il ne sert à rien d'identifier une espèce (au sens strict du terme, *i.e.* reconnaître l'entité) si on ne sait pas comment la nommer et ainsi communiquer toute information pertinente à son sujet.

### 1.3. Objectifs

Le travail présenté ici se divise en trois parties expérimentales principales ayant chacune un but bien précis. Pour la première partie (chapitre 4, *Analyse de taxonomie numérique des Trema du Togo, Afrique occidentale*), la variation morphologique présente dans les spécimens identifiés à *T. guineensis* sera explorée et des caractères variables seront extraits. Une analyse mathématique (ou numérique pour reprendre le terme consacré de *numerical taxonomy*) sera ensuite effectuée pour permettre la mise en évidence de discontinuités au sein de cette variation morphologique. Les résultats obtenus seront ensuite interprétés selon leur valeur et une *décision* sera prise quant à la position taxonomique et à la nomenclature appropriée à chaque entité définie, si tel est le cas. En d'autres termes, cette première partie vise à produire une classification reflétant le plus possible la variation existante chez *T. guineensis* en Afrique de l'ouest. Le fait que la décision finale repose sur

l'interprétation des résultats obtenus est intentionnellement mise en évidence ci-dessus et il serait important à ce moment-ci de traiter brièvement de ce point, souvent mal interprété par plusieurs.

Le taxonomiste, comme dans toute science, n'est pas à l'abri de choix subjectifs qu'il fera consciemment ou non (voir Sokal 1974 par exemple). Dans le cas de la sélection des caractères, si un bon survol de la variation totale observable est effectué (Crovello 1970), et si le nombre de caractères est suffisamment grand (Sokal et Sneath 1963), les caractères permettront d'arriver à des résultats fiables. Ceci est basé principalement sur la *matches asymptote hypothesis* (Sokal et Sneath 1963), qui postule que lorsque le nombre de caractères (valables) augmente, la similarité (ou la distance, la similarité étant égale à la distance soustraite de 1) entre deux organismes étudiés tendra à se stabiliser autour d'une valeur paramétrique. Cette supposition de base en taxonomie numérique n'a pas complètement passée le test des années quant à la capacité de différents sous-ensembles de même nombre de caractères à produire des patrons de ségrégation similaires (Sneath 1995). Néanmoins, Crovello (1969) a démontré qu'avec différents sous-ensembles de caractères de grande taille ( $> 60$  dans ce cas précis), les coefficients de corrélation cophénétiques (une mesure de la similarité entre les données de base et la classification résultante) étaient supérieurs à 85%. Bref, plus le nombre de caractères est élevé, plus fiable sera la classification finale. De la même façon, le choix des états pour chaque caractères qualitatifs doit refléter au maximum la variation observée.

La subjectivité du taxonomiste doit également être exercée au moment de décider du rang taxonomique auquel chaque entité définie doit être assignée: genre, espèces ou taxon sous-spécifique. Il n'existe aucune règle absolue quant à cette assignation et cette étape est laissée à la discrétion du taxonomiste. Généralement, cette décision sera basée sur la façon dont les entités se séparent entre-elles. Une grande distance entre différentes entités dont les caractères sont visiblement très différents

sera assignée au rang de genre, à l'opposé, pour une petite distance on assignera les deux taxa à des rangs sous-spécifiques. Nous reviendrons sur ce sujet plus en détails dans la conclusion (chapitre 7). La nomenclature des nouveaux taxa définis est elle aussi entre les mains du taxonomiste, mais cela ne constitue pas vraiment un problème de subjectivité: il importe peu que le merisier soit identifiée par le binôme *Betula alleghaniensis* Britton ou *B. Lutea* Michx. f. tant que l'on sait de quelle entité il s'agit (ceci soulève en passant l'importance d'identifier l'autorité lors de l'identification spécifique).

La deuxième partie expérimentale relatée ici (chapitre 5, *Micromorphologie et densité des trichomes foliaires chez les Trema (Ulmaceae) du Togo, Afrique occidentale*) est en fait une continuation de la première mais avec un nombre de caractères réduits et des méthodes correspondantes à cette réduction, concernant la morphologie et la densité des trichomes foliaires. Certains caractères ayant attiré mon attention ne purent être mesurés pour tous les spécimens utilisés dans la première partie. Plutôt que de refaire une analyse identique avec un nombre de spécimens réduits mais incluant quelques caractères supplémentaires, ce qui aurait potentiellement pu induire des incongruités entre les deux classifications résultantes, tel que Crovello (1968) l'a constaté, une analyse différente et indépendante fut effectuée. Ainsi, plutôt que de tenter de construire une classification, la validité de ces caractères supplémentaires à distinguer les différents taxa identifiés dans la première partie fut évaluée.

La dernière partie du présent exposé (chapitre 6: *Activités insecticide, nématocide et antivirale de trois espèces de Trema togolaises*) est consacrée à l'étude de la variation entre les différents groupes identifiés à la première partie mais à un autre niveau. L'efficacité d'extraits éthanoliques de feuilles de chaque espèce a été évaluée par bio-essais insecticides, nématocides et antiviraux. En plus d'enrichir nos connaissances sur ce sujet pour une espèce n'ayant jamais été étudiée de la sorte

(*T. guineensis sensu lato*), ceci permettra d'orienter des recherches futures dans les domaines où l'efficacité (ou non) de telles plantes pourraient être utile en plus d'identifier un autre plan sur lequel les différents taxa du genre *Trema* peuvent se distinguer.

#### 1.4. Hypothèses

Première partie: Analyse de taxonomie numérique des *Trema* (Ulmaceae) du Togo, Afrique occidentale

Il est difficile de définir une hypothèse quant aux résultats attendus d'une analyse de taxonomie numérique, le processus de classification étant essentiellement empirique (*i.e.* résultant de l'expérience et ne pouvant être déduit d'aucune loi ou système). La classification ainsi produite ne peut être acceptée ni réfutée par un test d'hypothèse comme on le fait, de façon justifiée (*i.e.* rigoureuse, suffisante) ou non, dans d'autres sciences plus «dures». Comme le remarque avec humour Ruse (1973),

«A classification is a division based on a set of rules and, for this reason, is neither true or false (which is what a theory is). (...) The proof of the pudding is in the eating, and if phenetic taxonomists cannot deliver what they claim to be able to deliver, then they are rightly open to criticism.»

En fait, le problème est qu'on ne peut soutenir une quelconque hypothèse, celle-ci n'ayant, de par la nature empirique du travail, aucune raison d'être. Néanmoins, une hypothèse de travail peut être envisagée pour les présents besoins et se formulerait comme suit:

Hypothèse 1: La variation morphologique exhibée par le complexe-spécifique *T. guineensis* comporte des discontinuités mesurables permettant la division de l'espèce en plusieurs espèces ou taxa sous-spécifiques.

L'hypothèse alternative serait simplement:

Hypothèse alternative: La variation morphologique exhibée est aléatoire et ne permet pas la division de l'espèce en plusieurs espèces ou taxa sous-spécifiques.

Deuxième partie: Micromorphologie et densité des trichomes foliaires chez les *Trema* (Ulmaceae) du Togo, Afrique occidentale

Dans l'éventualité d'une nouvelle classification à la partie 1, et ce sera le cas comme nous le verrons plus loin, une hypothèse concernant la deuxième partie devra obligatoirement supposer que cette classification soit suffisamment correcte (un test de cette hypothèse sera effectué dans la première partie). En acceptant cette supposition, un test d'hypothèse au sens strict du terme devient possible:



Hypothèse 2: La variation de la morphologie et de la densité des trichomes foliaires chez les espèces de *Trema* présentes au Togo se partage, tenant compte de la variation aléatoire et des erreurs d'observation possibles, selon les espèces définies dans la première partie.

Raison d'être: Puisque *T. guineensis* se partage en plusieurs taxa sur la base de plusieurs caractères morphologiques qui sont de fait corrélés entre-eux intraspécifiquement (supposition de base), des caractères additionnels, mesurés de la même façon sur des spécimens de chaque taxa pourront se ségréger eux aussi selon ces taxa.

Hypothèse alternative: La variation de la morphologie et la densité des trichomes foliaires est aléatoire et ne se partage pas selon les espèces définies dans la première partie.

Troisième partie: Activités insecticide, nématocide et antivirale de trois espèces de *Trema* togolaises

À partir des mêmes suppositions posées précédemment, l'hypothèse concernant cette partie peut s'exprimer comme suit:

Hypothèse 3: La variation dans la composition chimique des espèces de *Trema* au Togo reflète la variation morphologique mise en évidence dans la première partie et on peut observer une activité biologique insecticide, nématocide et antivirale différente pour chaque taxa définis dans la première partie.

Raison d'être: Puisque la morphologie, étant le produit de l'action du matériel génétique propre à chaque espèce, varie entre les taxa définis dans la première partie, il est probable que ceux-ci aient développés des voies métaboliques différentes aboutissant soit à une composition chimique différente, soit à une production plus ou moins importante de composés secondaires ayant un effet biologique insecticide, nématocide et antiviral différent.

Hypothèse alternative: La variation dans la composition chimique est aléatoire et ne reflète pas la variation morphologique observée entre les taxa.

La présente thèse est divisée en trois parties. Tout d'abord, les connaissances que l'on a de *T. guineensis* seront revues, tant au plan de la taxonomie — position systématique, nomenclature, histoire — que de l'écologie, de l'anatomie, de la composition chimique et des utilisations traditionnelles que l'on en fait (chapitre 2). Ensuite, un survol du milieu naturel où les spécimens de *T. guineensis* ont été récoltés et étudiés principalement, le Togo, sera effectuée. La topographie et la géomorphologie, l'hydrographie, le climat, la pédologie et les différentes zones écologiques seront décrits brièvement de façon à donner au lecteur une idée suffisante du milieu naturel où ce complexe-spécifique croît (chapitre 3). Les chapitres 4 à 6 traiteront en détail des différentes parties expérimentales décrites brièvement ci-dessus et des résultats obtenus. Ces chapitres se présentent sous forme d'articles scientifiques prêts à l'envoi pour fins de publication et seront légèrement adaptés pour la présente thèse. Une conclusion générale suivra au chapitre 7.

## CHAPITRE 2

### ***TREMA GUINEENSIS*: REVUE DE LITTÉRATURE**

#### 2.1 *Taxonomie*

##### 2.1.1 Position taxonomique du genre *Trema*

Le genre *Trema* Lour. (1790) est traditionnellement inclus dans la famille Ulmaceae Mirbel (1815) incluant deux sous-familles (ou tribues), Ulmoideae et Celtidoideae. La première est caractérisée entre autre par des feuilles strictement pennées à nervation craspédodrome, la production de fruits secs (le plus souvent une samare) et la position linéaire de l'embryon dans la graine à la forme aplatie alors que la deuxième l'est par des feuilles pennées-palmées avec trois nervures principales à la base et à nervation brachiododrome, la production de drupes et la position recourbée de l'embryon dans la graine globulaire (Cronquist 1981). La fusion de ces deux taxa en une seule famille a été remise en question par Link (1831). Celui-ci donna à la sous-famille Celtidoideae le rang de famille à part entière: Celtidaceae Link. Plus récemment, avec de meilleurs arguments, Grudzinskaya (1967) relança cette idée. Selon elle, les caractères typiques à la sous-famille Celtidoideae sont suffisamment similaires à ceux des Moraceae pour lui justifier le statut de famille à part entière (Figure 1). Cette distinction entre les deux sous-familles a depuis été appuyée par plusieurs autres évidences, incluant l'anatomie florale (Chernick 1975, 1981; Omori et Terabayashi 1993), la morphologie des grains de pollen (Erdtman 1966; Zavada 1983; Takahashi 1989), la composition flavonique (Giannasi 1978), l'anatomie du péricarpe (Chernick 1980), l'anatomie du tégument séminal (Chernick 1982) et également la micromorphologie des trichomes (Tobe et Takaso 1996).

Figure 1. Position systématique du genre *Trema*. Les divisions supra-familiales sont selon Cronquist (1981). La division des familles Ulmaceae et Celtidaceae suit la classification de Grudinskaya (1967) sauf pour les genres *Barbeya*, *Chaetoptelea*, *Mirandaceltis* et *Plagioceltis* qui ne furent pas considérés lors de cette étude.

---

Classe Magnolipsida

Sous-classe Hamamelidae

Ordre Urticales

Famille Ulmaceae

*Barbeya*<sup>1</sup>

*Chaetoptelea*<sup>2</sup>

*Hemiptelea*

*Holoptelea*

*Phyllostylon*

*Planera*

*Ulmus*

*Zelkova*

Famille Celtidaceae

*Ampelocera*

*Aphananthe*

*Celtis*

*Chaetachme*

*Gironniera*

*Lozanella*

*Mirandaceltis*<sup>2</sup>

*Parasponia*

*Plagioceltis*<sup>1</sup>

*Pteroceltis*

*Trema*

---

<sup>1</sup> Assignation familiale selon la composition flavonique (Giannasi 1971)

<sup>2</sup> Assignation familiale selon la morphologie pollinique (Zavada 1983)

Le genre *Trema* comprends 10 à 15 espèces distribuées partout dans les régions tropicales et subtropicales du monde (Figure 2). En Asie, selon Soepadmo (1977), le genre est distribué de l'Inde à l'ouest à la polynésie française à l'est et du sud du Japon au nord jusqu'à la côte ouest de l'Australie au sud et comprendrait 6 à 7 espèces avec au moins quatre présentes en Malaisie. L'Amérique posséderait environ 4 à 5 espèces distribuées de la Floride à l'Argentine en passant par les Caraïbes (Gardiner 1965).

L'Afrique, pour sa part, semble abriter plusieurs formes (au sens strict du terme) appartenant au genre *Trema*. L'examen de spécimens d'herbier de même que l'observation sur le terrain laisse paraître une grande variation morphologique qui pourrait être consistante avec l'existence de plusieurs taxa spécifiques ou infra-spécifiques. L'étude de l'histoire des différents taxa reconnus en Afrique est importante pour tenter de comprendre de quelle façon la variation morphologique est ordonnée.

#### 2.1.2. Histoire des espèces présentes en Afrique (excluant Madagascar) appartenant au genre *Trema*

La première espèce africaine appartenant au genre *Trema* a été décrite pour la première fois à partir de spécimens récoltés en Guinée<sup>1</sup> par Thonning sous le nom de *Celtis guineensis* Schum. &

---

<sup>1</sup> L'utilisation du terme Guinée (Guinea, tel qu'indiqué sur les spécimens de Thonning) est trompeuse. Ce terme désigne probablement l'Afrique de l'Ouest en général tel qu'on peut encore le rencontrer aujourd'hui pour désigner certains lieux comme le Golfe de Guinée, qui borde la côte ouest-africaine au sud. Il est cependant probable que ces spécimens aient été récoltés par Thonning au Ghana (alors la Gold Coast) entre 1799 et 1804, lorsqu'il y fut envoyé par le gouvernement danois pour explorer les ressources floristiques de la colonie (voir <http://www.nathimus.ku.dk/bot/thonn.htm>). Polhill (1964) indique également que les spécimens de Thonning proviennent du Ghana, assertion cependant non-référencée.

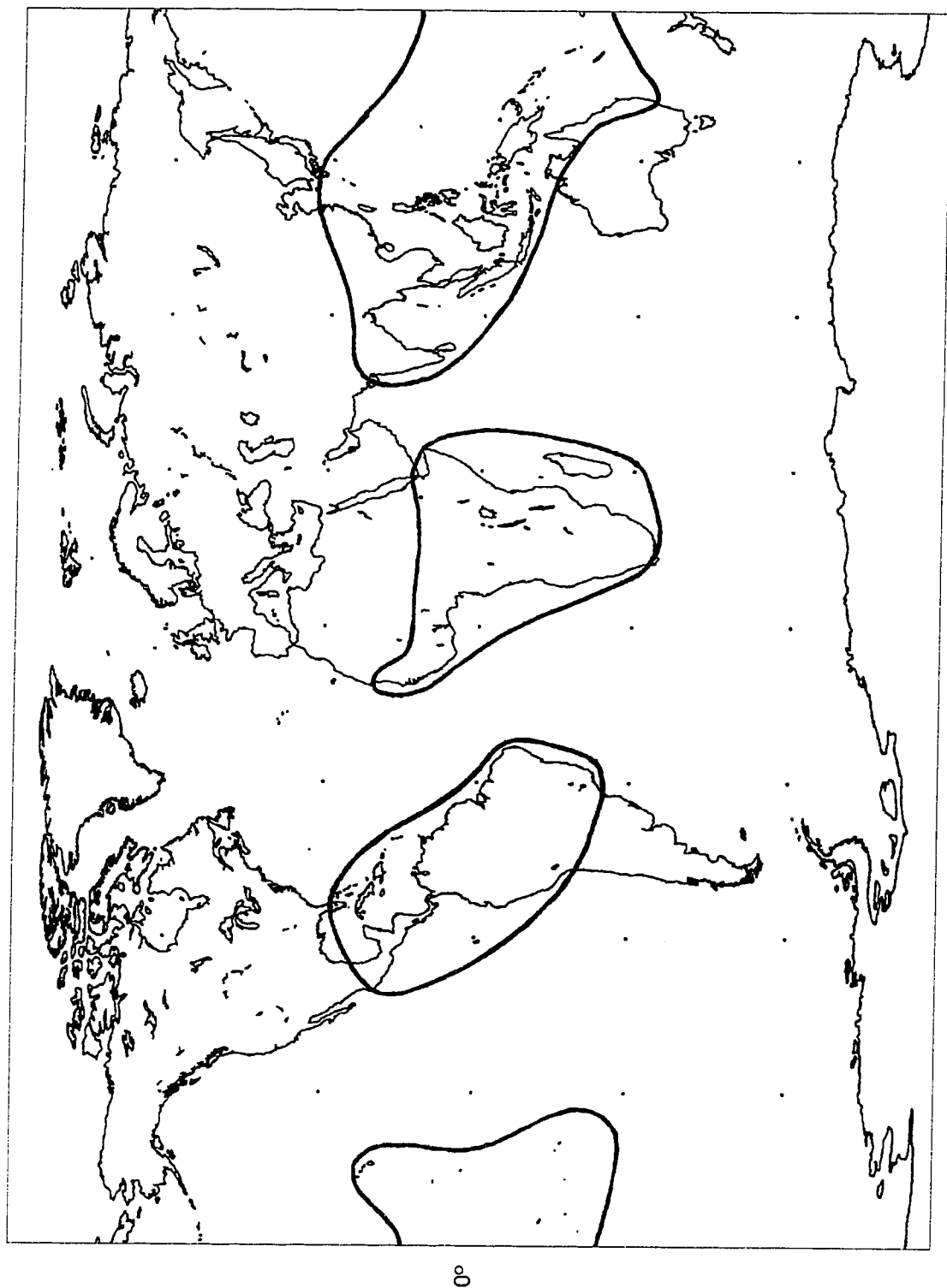


Figure 2. Distribution du genre *Tremma* dans le monde. (D'après Soepadmo 1977)

Thonn. incluant une variété, var. *parvifolia* Schum. & Thonn. (Schumacher 1827). Le spécimen-type de *C. guineensis* (Thonning s.n., C!, voir chapitre 4, section *Taxonomic Treatment*, pour une ré-évaluation de chaque spécimen-type) est caractérisé par des feuilles de grande taille de 8 à 12 cm de longueur et de 3 à 5 cm de largeur, à la base peu ou pas cordée du tout, les fleurs / fruits, aux aisselles des branches, sont en glomérules plus ou moins compacts, portés par des pédicelles courts (< 10 mm). Les feuilles sont en outre encore vertes. Rien n'est indiqué quant à la provenance ou l'habitat où le spécimen a été récolté. Le spécimen-type de *C. guineensis* var. *parvifolia* (Thonning s.n., C!) possède, comme son nom l'indique, des feuilles de petite taille de 3 à 6 cm de longueur et de 1.5 à 3 cm de largeur. Un caractère distinctif par rapport à la variété *guineensis* est que les feuilles du spécimen séché sont de couleur brune, indiquant possiblement la présence de tannins en quantité.

Par la suite, Hochstetter reconnut deux espèces qu'il assigna au genre aujourd'hui disparu *Sponia*: *S. bracteolata* Hochst. et *S. glomerata* Hochst. (Krauss 1845). Ces deux espèces seront par la suite rattachées au genre *Trema*. *C. guineensis* et sa variété *parvifolia* ne sont pas conservés. L'examen des spécimens-type révèle un *S. bracteolata* (type: Afrique du Sud, *Krauss 41*, K!) possédant des feuilles de grande taille d'environ 10 cm de longueur par 5 cm de largeur avec une base cordée et des fleurs en glomérules compacts avec des pédicelles courts. Au premier abord, ne serait-ce de la base des feuilles cordées, ce spécimen ressemble particulièrement à *C. guineensis*. *S. glomerata* (type: Afrique du sud, *Krauss 354*, K!), pour sa part, ressemble à *C. guineensis* var. *parvifolia* avec des feuilles plus petites encore de 2 à 5 cm de longueur et de 1 à 2 cm de largeur.

Planchon (1848) refit au complet la classification générique de *Sponia* en reconnaissant les espèces précédentes et en en décrivant plusieurs autres à partir de matériel africain: *S. africana* Planch., *S. strigosa* Planch, *S. nitens* Hook. & Planch. et *S. affinis* Planch. Ces dernières espèces ne sont pas très éloignées des précédentes: *S. africana* (type: Sénégal, *Heudelot 50*, K!) ressemble

beaucoup au spécimen-type de *C. guineensis* var. *parvifolia* décrit ci-dessus avec des petites feuilles devenant brunes en séchant. *S. strigosa* (type: Nigéria, *Vogel s.n.*, K) est similaire à la dernière espèce d'après la description qu'en donne Planchon mais avec quelques caractères légèrement différents (rameaux strigeux, feuilles légèrement plus petites, etc). *S. nitens* (type: Fernando Po, *Vogel s.n.*, K!) se démarque ici par la possession de feuilles de plus grande taille (jusqu'à 15 cm de longueur) ayant la face inférieure recouvertes d'un dense indumentum lui donnant un aspect argenté. *S. affinis* (type: Sénégal, *Heudelot s.n.*, K!) pour sa part possède de longues feuilles très pubescentes leur donnant un aspect velouté mais en gros similaires à *C. guineensis*. Deux variétés sont décrites par Planchon (1848) mais n'ont pas été observées. Leur utilisation ultérieure n'est pas documentée.

Il est difficile de déterminer exactement à quel moment le nom *Sponia* passa en désuétude et fut remplacé par *Trema*. La première assignation à ce genre des espèces africaines est le fait de Blume (1856). L'auteur reprit toutes les espèces décrites ci-dessus par Hochstetter et par Planchon et les réassigna tout simplement au genre *Trema*. Il est difficile d'identifier les raisons de cette réassignation mais il est probable que les caractères descriptifs de *Sponia* et de *Trema* soient très similaires et que, la description du genre *Trema* étant antérieure (Loureiro 1790) à celle du genre *Sponia* (Commerson 1796, voir Pfeiffer 1874), Blume ne conserva que le premier. Le fait est que dès la première édition de l'Index Kewensis (Daydon Jackson, 1885), le genre *Sponia* est reconnu comme un *nomen illegitimum*. Le nom n'a d'ailleurs été utilisé, toujours selon l'Index Kewensis (suppl. II et suppl. XIV) que 2 fois par la suite. Il est cependant vraisemblable que ces auteurs aient tout simplement consulté des ouvrages trop anciens pour être fiables. Une mention est faite de *S. orientalis* (L.) Planch. var. *asperata* Solms dans Polhill (1964, référence originale manquante), espèce récoltée en Éthiopie et décrite en 1867, et constitue l'une des dernières utilisations connues du nom *Sponia* pour du matériel africain dans la littérature.



Planchon (1873) fut le dernier à utiliser le générique *Sponia* dans le Prodromus de De Candolle, en spécifiant que la réassignation par Blume de *Sponia* à *Trema* (qui existait, comme nous l'avons vu plus haut, depuis 1790) était inappropriée. Il conserve dans ce dernier ouvrage les espèces africaines *S. nitens* et *S. affinis* alors qu'il regroupe les espèces *S. bracteolata*, *S. glomerata*, *S. africana* et *S. strigosa* en une seule et même espèce dont le nom demeurera longtemps par la suite: *S. guineensis* (Schum. & Thonn.) Planch. Il reconnaît simultanément l'existence de *S. hochstetteri* Buch. ex Planch. identifiée à partir de matériel éthiopien décrit par Buching en 1855 et dont la forme à première vue est similaire à celle de *C. guineensis* (type: Éthiopie, Schimper 195, K!, P!).

Arrive Ficalho en 1884 (1947) qui ré-assigne *S. guineensis* au genre *Trema* sous le nom de *T. guineense* (sic) (Schum.) Ficalho incluant *S. affinis*. Il reconnaît en outre l'existence de diverses autres espèces présentes dans les forêts angolaises mais sans les identifier. Il est intéressant ici de noter que Ficalho «rebaptise» l'espèce avec l'épithète *guineense* plutôt que d'utiliser le terme *guineensis*. Ficalho a vraisemblablement reconnu *Trema* comme appartenant au genre latin neutre, ce qui est vrai. Néanmoins, l'utilisation de cette forme neutre n'a été que peu utilisée.

Une courte liste de taxa africains suivent au fil des ans, plusieurs n'étant en fait que la recombinaison de *Sponia* vers *Trema*. Büttner (1889, cité dans Polhill (1964)) donne le rang de forme à *S. strigosa* avec *T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho forma *strigosa* (Planch.) Büttn. Engler (1892) ne reconnaît qu'une seule espèce en Afrique, *T. hochstetteri* (Buch. Ex Planch.) Engl. Il change d'idée quelques années plus tard et reconnaît *T. guineensis* (Schum.) Engl. (il est évident par le fait qu'il assigne son propre nom comme autorité spécifique qu'il n'était pas encore au courant des travaux de Ficalho en Afrique occidentale, ou les niait carrément) ainsi qu'une variété, *T. guineensis* (Schum.) Ficalho var. *hochstetteri* (Buch.) Engl. (Engler 1895). Hiern (1900) ne reconnaît qu'une seule espèce en Afrique, *T. affinis* Bl., qu'il synonymise avec *C. guineensis*, *S. africana*, *S. strigosa*,

*S. affinis*, *S. guineensis* et *T. guineensis*. Engler revient en 1915 et reconnaît, outre *T. guineensis* et *T. guineensis* var *hochstetteri*, *T. guineensis* (Schum.) Engl. var. *parvifolia* (Schum.) Engl. Les derniers taxa décrits sont *T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho var. *paucinervia* Hauman (1942), dont le type (Rép. dém. Congo, Léontovitch 93, BR!), ressemble beaucoup à celui de *C. guineensis* var. *parvifolia* et à celui de *S. africana*, ressemblance reconnue aussi par Polhill (1964) et *T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho var. *asperata* (Solms) Cufodontis (1953, type pas vu).

Finalement, Polhill (1964) transfère tous les taxa africains à *T. orientalis* (L.) Bl. sur la base que la variation morphologique est considérable et que les caractères ne sont pas corrélés entre eux ou avec des facteurs de distribution ou d'habitat, en accord avec Leroy (1952) qui suggérait cette synonymie. De nos jours, peu de botanistes reconnaissent (ou même connaissent) l'existence de plusieurs taxa en Afrique (Hutchinson et Dalziel 1958; Polhill 1964; Brunel, Hiepko et Scholtz 1984). Les noms *T. guineensis* et *T. orientalis* sont ceux qui sont rencontrés le plus souvent et sont implicitement synonymisés entre eux. Il est donc évident que le nombre et l'identité des taxa appartenant au genre *Trema* en Afrique de l'ouest et en Afrique en général ont été très variables depuis les 150 dernières années.

Il est important de réaliser, même si cela est évident, que ces espèces africaines ont été décrites, comme pour la plupart des autres espèces végétales à l'époque, par observation répétée et de façon intuitive. Aucune analyse détaillée, encore moins quantitative, n'a été effectuée pour mettre en évidence l'existence d'une seule ou de plusieurs espèces en Afrique.

## 2.2. Variation morphologique existante au Togo et les régions avoisinantes d'Afrique de l'ouest

Au Togo, où Brunel, Hiepko et Scholtz (1984) ne reconnaissent eux aussi que le *T. orientalis*, on peut remarquer que, malgré la grande variation morphologique existante, l'espèce semble se ségréger en trois groupes distincts selon la morphologie évidente des feuilles, selon le port de la plante et selon l'endroit où elle se retrouve. Une de ces formes se caractérise visuellement par la possession de petites feuilles strigeuses de 2 à 8 cm environ, un port buissonnant (jusqu'à 4 m environ), une production de fruits abondante et se retrouvant principalement dans les zones de savannes ouvertes. Cette forme, pour les besoins d'identification sur le terrain lors des récoltes, a été dénommée *petites feuilles* (pf, Figure 3). Une deuxième forme, distincte de la première, se caractérise principalement par la possession de grandes feuilles (de 5 à 15 cm et plus), souples et possédant un dense indumentum leur donnant un aspect velouté, une taille plus grande (jusqu'à 8 m environ) et une prédilection apparente pour les zones humides et le long de petits cours d'eau. Cette forme a été appelée grandes feuilles vertes (GFv, Figure 4), allusion à la taille des feuilles et au fait que le limbe demeure visible entre les trichomes foliaires. Une troisième forme, elle aussi distincte des deux premières, possède de grandes feuilles (de 8 à 20 cm) assez rigides avec un indumentum remarquablement dense sur la face abaxiale, une taille dépassant les deux autres formes (jusqu'à 15 m et plus) et se retrouve presque exclusivement (au Togo du moins) dans les régions montagneuses à fortes précipitations. Cette forme a été identifiée grandes feuilles blanches (GFb, Figure 5), l'indumentum de la face abaxiale étant si dense que le limbe en était complètement recouvert, donnant à première vue l'illusion de la couleur blanche.



Fig. 3. Spécimen de *Trema guineensis* de type à petites feuilles (pf) rencontré au Togo.

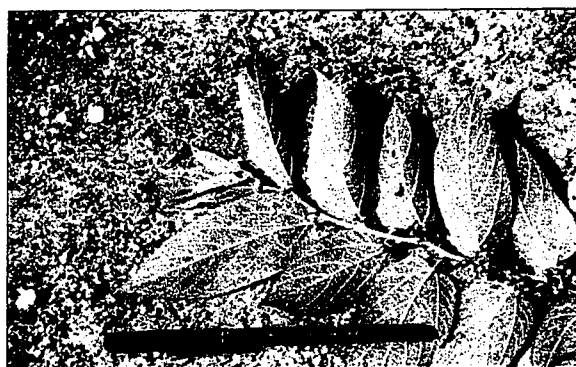


Fig. 4. Spécimen de *Trema guineensis* à grandes feuilles vertes (Gfv) rencontré au Togo. À gauche, la face supérieure, à droite, la face inférieure.



Fig. 5. Spécimen de *Trema guineensis* à grandes feuilles blanches (Gfb) rencontré au Togo. À gauche, la face supérieure, à droite, la face inférieure.

Malgré l'utilité certaine de cette classification lors des collectes, ne serait-ce que pour permettre d'englober une bonne partie de la variation existante, il est à souligner que celle-ci ne doit être utilisée qu'à titre indicatif seulement. L'objectif du présent travail n'est pas de tester si cette classification, artificielle s'il en est une, est valable mais bien de déterminer le nombre de taxa présents dans l'aire d'étude sans préconception préalable. En d'autres termes, il faut éviter de raisonner circulairement en tentant de déterminer un nombre de taxa à partir d'un nombre de taxa intuitivement déterminé. Cette réflexion ne rejette pas la valeur de l'intuition en taxonomie mais veut mettre l'emphasis sur son utilité pratique et restreindre son utilisation scientifique comme base d'une classification.

### 2.3. Écologie

*Trema guineensis* (incluant ses synonymes), est une plante typique des milieux perturbés. On la retrouve donc dans les endroits modifiés par l'homme: champs en jachère, près des habitations, le long des routes, mais aussi, en milieu forestier, dans les recrûs anthropiques ou non. Guelly (1994) en décrit la présence dans les savanes de la région forestière subhumide des plateaux de l'Atakora (sud-ouest du Togo). L'auteur a remarqué la présence de *T. guineensis* dans les zones de groupement de jachère et de friche sur schiste, micaschiste et gneiss essentiellement, avec une dominance particulière dans les groupement à *Harungana madagascariensis*, une espèce pionnière, exprimée de 4 à 10 ans après la mise en jachère. Alexandre (1978) travaillant en Côte-d'Ivoire, y a rencontré *T. guineensis* dans des châblis forestiers où l'espèce y était dominante et en zone récemment défrichées où l'espèce, non-dominante, croissait avec *Macaranga hurifolia*, une autre espèce pionnière. Les graines de *T. guineensis* contiennent un inhibiteur de germination qui s'estompe environ 10 mois après la maturité. Ceci permet à l'espèce d'utiliser plus efficacement leur habitat dans le temps et l'espace, les graines demeurant dans le sol et attendant le moment propice pour germer (Vazquez-Yanes 1977). Plus de 300 graines / m<sup>2</sup> ont été dénombrées dans les cinq premiers centimètres superficiels en certains endroits et la germination est rapide: 11 jours pour les émergences hâtives et environ 30 jours pour les plus tardives en conditions expérimentales. Les temps de germinations sont plus longs en conditions naturelles (4 à 5 semaines). La croissance est lente au début puis s'accélère: 50 cm après les premiers six mois et 6 m après un an (Alexandre 1978). Cette croissance rapide serait le fait, selon Coombe (1960) de la production prolongée et efficace de nouvelle surface foliaire. La floraison / fructification a lieu toute l'année avec un maximum vers le mois de décembre. Il est à noter

qu'Alexandre (1978) identifie deux phénotypes, un phénotype vert et un autre rouge selon la coloration des nervures foliaires qui semblent se distribuer selon la richesse du sol en azote. Ces deux phénotypes diffèrent par leur taille à maturité et par la quantité de fruits produits.

Tchoumé (1980) a fait une étude de la morphologie et de la distribution des trois espèces de *Trema* qu'il reconnaît en Côte-d'Ivoire: *T. orientalis* (L.) Bl., *T. hochsteterii* (Buch. ex Planch.) Engl. et *T. parvifolia* (Schum. & Thonn.) Tchoumé, espèces correspondant approximativement aux différents types existant au Togo tel que décrits ci-dessus. Ces trois espèces sont caractérisées par le type d'architecture dit modèle de Roux (Hallé et Oldeman 1970). *T. orientalis* est rencontré en zone forestière humide sur sols argilo-sableux ou argileux en très grande quantité. Il s'agit en fait de l'espèce la plus vigoureuse dans cet habitat. La croissance se fait en longueur et en largeur avec ramification moyenne produisant un plant massif et grossièrement pyramidal de 4 à 12 m de hauteur. Le *T. parvifolia* serait plus adapté aux sols sableux, ce qui lui donnerait une aptitude accrue à coloniser les régions plus sèches des savanes sahéliennes. En zone forestière, *T. parvifolia* arrive deuxième en ce qui a trait à la dominance en zone forestière, loin derrière *T. orientalis*. La ramification débute tôt et est très importante mais la croissance en longueur est faible. Le résultat est un arbuste de petite taille (1 à 3 m) très buissonnant. *T. hochsteterii* croît rapidement et constitue l'espèce la moins rencontrée en zone forestière. Il semble que les besoins associés à sa vitalité accrue limitent sa croissance dans des environnements moins productifs. Sa taille peut atteindre les 25 m et les branches se ramifient peu, résultant en un plant de grande taille de forme allongée. Les trois espèces diffèrent encore selon le temps qu'il prennent avant d'arriver à maturité sexuelle, *T. parvifolia* étant le plus précoce (3 à 4 mois après la germination), suivi de *T. orientalis* (6 à 7 mois) et de *T. hochsteterii* (plus d'un an). Bien que cette étude soit des plus complète dans sa forme, il semble

cependant que l'auteur passe trop rapidement outre la validité des caractères foliaires pour distinguer ces trois espèces.

Un dernier point serait utile à clarifier. Il est avancé par certains auteurs que *T. guineensis* et *T. orientalis* auraient la capacité de faire symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium*, leur donnant la possibilité d'assimiler l'azote atmosphérique (Irvine 1961; ICRAF 1992). Cette affirmation semble basée sur la synonymie entre les deux espèces et est un cas intéressant de confusion naissant d'une mauvaise connaissance taxonomique. En effet, *T. orientalis*, *T. cannabina* Lour., *Parasponia parvifolia* Miq. et *P. rugosa* Bl. croissent de façon sympatrique dans l'archipel malais, en Asie du sud-est et on répandit l'idée qu'elles possédaient toutes des nodules rhizobiens. Seul le genre asiatique *Parasponia* fait symbiose avec *Rhizobium* et les spécimens du genre *Trema* qui en possédaient avaient été mal identifiés. Il s'agissait effectivement de spécimens de *Parasponia* (Akkermans, Abdulkadir et Trinick 1978a, 1978b).

#### 2.4. Composition chimique

Il est difficile de trouver des références fiables dans la littérature quant à la composition chimique de *T. guineensis*. La principale raison de cette incertitude réside dans l'absence d'identification sûre de la ou des formes utilisées lors de l'exécution de ces expériences. On pourra donc trouver, selon le cas où l'on accepte la synonymie ou non, des ouvrages traitant de la composition du *T. guineensis* africain ou encore de *T. orientalis* provenant d'Asie ou d'Afrique. Ces deux nomenclatures sont les deux seules traitées et il est possible que, dans l'éventualité de l'existence d'un ou plusieurs autres taxa



(africains du moins), certaines compositions chimiques puisse varier dans ceux-ci et ainsi créer encore plus de confusion quant à la composition réelle de chacun.

La première mention fut celle de Thoms (1909) qui a constaté que les feuilles de *T. guineensis* var. *parvifolia* — en provenance du Togo — renfermaient des sucres en grande quantité et aussi des tannins, mais pas d'alkaloïdes.

Hegnauer (1973) cite plusieurs références décrivant la présence chez *T. guineensis* des flavonoïdes leucodelphinidine, leucocyanidine et d'acide cafféique. Les graines renfermeraient quant à elles 28% d'huile avec comme acides gras principaux l'acide linoléique (53%), l'acide oléique (24%), l'acide palmitinique (17%) et l'acide stéarinique (6%). L'écorce de spécimens de *T. orientalis* originant de Formose serait composée de 7.1 % de tannins condensés. Des saponines seraient également présentes.

Selon Darniey Gibbs (1974), *T. guineensis* ne contiendrait pas de tannins ni probablement la tige de cyanogènes, les résultats étant douteux (cf. note p. 29).

Les feuilles contiendraient des huiles volatiles, des tannins, des sucres réduits et les triterpénoïdes simiarénol, trématol et d'autres similaires (Ayiku, 1992) mais ces prétentions ne sont pas confirmées.

Nag et Matai (1992) décrivent la composition chimique des feuilles de *T. orientalis* originant de l'Inde (Tableau 1).

Une série d'articles rédigés par la même équipe décrit en détail, avec analyses phytochimiques à l'appui, la présence chez *T. orientalis* au Nigéria (situé tout près du Togo faut-il préciser) d'acide octacosanoïque, de simiarénol, de simiarénone et de trématol (Fig. 6; Ogunkoya *et al.* 1972a; 1972b; 1973; 1977; Obafemi *et al.* 1979).

Tableau 1. Composition chimique de *T. orientalis* en Inde (d'après Nag et Matai 1992).

| Composant                       | Pourcentage de masse sèche |
|---------------------------------|----------------------------|
| Matière sèche                   | 19.33 ± 0.19               |
| Protéines                       | 25.08 ± 0.29               |
| Cendres                         | 18.57 ± 0.28               |
| Cendres insolubles dans l'acide | 11.80 ± 0.20               |
| Lipides                         | 12.30 ± 0.31               |
| Fibres                          | 19.16 ± 0.13               |
| Azote                           | 25.60 ± 0.43               |
| Calcium                         | 2.41 ± 0.20                |
| Phosphore                       | 0.23 ± 0.01                |
| Fer                             | 0.16 ± 0.03                |
| Sodium                          | 0.30 ± 0.01                |
| Potassium                       | 0.26 ± 0.03                |
| Polyphénols libres              | 2.21 ± 0.02                |
| Polyphénols liés                | 4.88 ± 0.01                |
| Alkaloïdes <sup>1</sup>         | Présents                   |
| Alkaloïdes <sup>2</sup>         | Absents                    |

<sup>1</sup> Extraits avec du chloroforme d'une solution d'ammoniaque

<sup>2</sup> Extraits après addition de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et subséquemment avec un mélange chloroforme : éthanol (3:2).

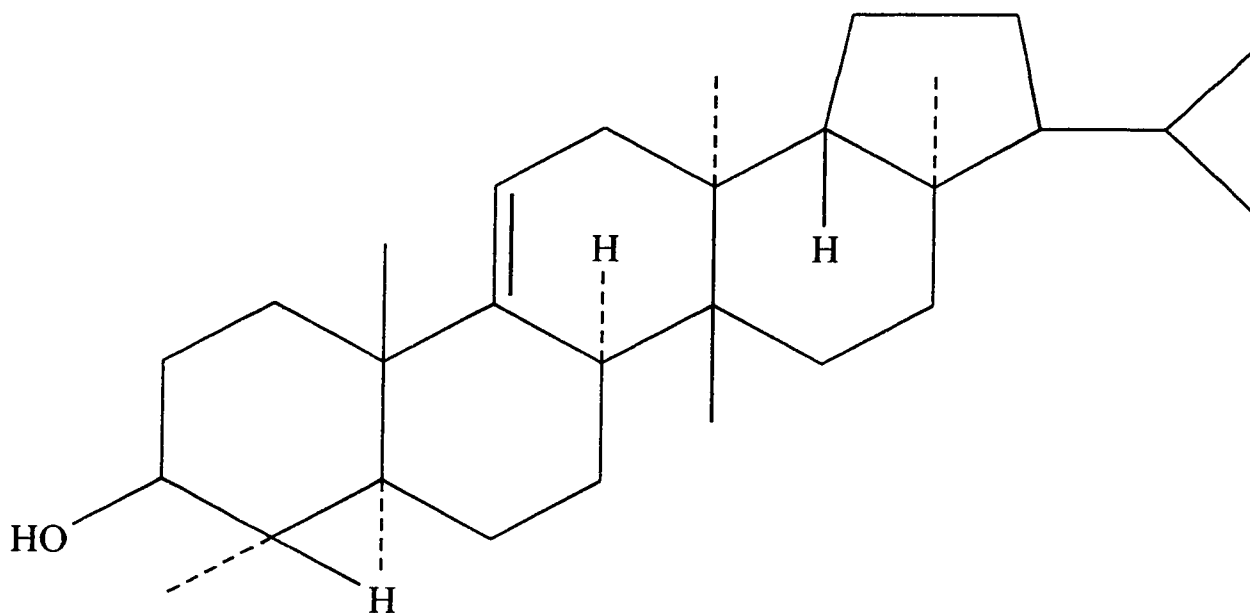


Fig. 6. Structure probable de l'alcool triterpénoïde trématol retrouvé dans des spécimens de *Trema orientalis* en provenance du Nigéria (d'après Obafemi *et al.* 1979).

## 2.5. Utilisations traditionnelles non-médicinales

Dalziel (1937) décrit les utilisations suivantes en Afrique de l'ouest particulièrement. Le bois est souvent utilisé pour servir de montant de toit et serait apparemment résistant aux termites. Au Congo, des baguettes de tambour en sont confectionnées. En Angola, les Cabinda s'en servent pour fabriquer un instrument de musique. Au Nyasaland (actuel Malawi) on s'en sert pour faire du charbon de bois, d'où son nom de charcoal-tree (nom également donné au *T. orientalis* en Inde). On suppose également que les Yoruba (du Nigéria) utiliseraient les racines pour fabriquer des flottes de lignes à pêche, elles seraient en outre plus perméables (*sic*) à l'eau que le liège. L'écorce produit une forte fibre qui est parfois extraite pour fabriquer de la corde.

En Afrique de l'est, selon l'ICRAF (1992) la plante est utilisée comme combustible, dans la fabrication de charbon de bois (cf. charcoal-tree au Malawi) et des pieux, comme fourrage pour le bétail, pour alimenter les abeilles, pour faire de l'ombre, comme plante ornementale, pour fixer l'azote (voir section Écologie p. 25) ou comme paillis.

En Asie, les plants de *T. orientalis* servent à la fabrication de charbon de bois selon Burkill (1935). Toujours selon le même auteur, l'espèce posséderait une écorce fibreuse mais peu utilisée par les malais, celle-ci étant difficile à nettoyer. Les fibres seraient en outre appropriées pour la fabrication de papier. Le bois est utilisé à Java pour la fabrication de poudre à canon. Au même endroit, on l'utilise pour la fabrication de tables à thé et d'allumettes. Les feuilles sont utilisées pour l'alimentation des chèvres et même, aux Molluques, pour l'alimentation humaine. Les pasteurs du Queensland (Australie) considèrent la plante comme un poison, fait relaté également par Watt et Breyer-Brandwijk (1962)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Confusion probable entre *T. orientalis* et *T. apera* Bl., commune dans l'est de l'Australie et possédant des composés cyanogènes (Hegnauer 1973).

D'autres utilisations de *T. guineensis* sont énumérées par Irvine (1961): les feuilles et les fruits sont consommées au Congo belge, la plante est utilisée pour créer de l'ombrage dans les plantations de caféiers au Kenya, les cendres de la plante sont utilisées pour faire du savon en Guinée, l'écorce contiendrait de fortes fibres utilisées au Ghana pour fabriquer de la corde et en Tanzanie pour faire du fil à pêche, l'écorce est frottée contre les cordes traditionnelles en Ouganda pour les préserver, une teinture brune est obtenue des feuilles au Togo, le bois est dit résistant aux termites et est parfois utilisé en menuiserie, on s'en sert également comme combustible ou pour produire du charbon de bois.

Au Togo, selon mes observations, *T. guineensis* est utilisé essentiellement pour fabriquer de la poudre à canon que l'on fait exploser lors des funérailles, la détonnation permettant à l'âme de la personne décédée de rejoindre l'au-delà. Dans la région des montagnes du nord, on m'a affirmé manger les jeunes feuilles en sauce.

## 2.6. Utilisations ethnomédicinales

À Lagos, au Nigeria, de petits morceaux de bois sont rôtis et utilisés pour faire du thé contre la dysenterie et, au Sierra Leone, l'écorce est utilisée pour le traitement de la toux (Holland, 1922).

En Côte-d'Ivoire et en quelques endroits au Ghana, la décoction aqueuse de l'écorce est utilisée comme remède contre la toux, la congestion bronchiale et l'asthme. L'écorce est également utilisée comme vermifuge et dans le traitement de la dysenterie et de la fièvre jaune. Un gargarisme préparé à partir de l'écorce et des feuilles a été utilisé pour les maux de gorge, les maux de dents et les infections buccales. La plante possède un goût amer et a été administrée pour son activité antispasmodique dans les cas de maux d'estomac sévères. L'extrait de feuilles est administré aux chiens comme anthelminthique. Les feuilles tendres et celles d'*Amaralia sherbourniae* sont utilisées dans la

préparation d'une soupe consommée au lever du soleil au Libéria pour traiter l'infertilité féminine (Iwu, 1993).

Selon Trovato *et al.* (1988), qui firent une étude des effets biologiques de *T. guineensis*, les Baïnouk et les Peuls-Firdous (du Sénégal) utilisent ses feuilles pour leurs vertues diurétiques, anti-inflammatoires et vermifuges mais les guérisseurs Peuls-Firdous font remarquer que le contact prolongé avec les feuilles cause des dermatoses et leur utilisation exagérée peut devenir toxique pour les bêtes.

Un thé est fait à partir des fruits et des feuilles en Tanzanie pour traiter les bronchite et pneumonie infantiles et sert aussi contre la pleurésie. Les feuilles séchées et écrasées mélangées avec du jus de citron sont consommées contre les maux de gorge et pour imperméabiliser les lignes à pêche. En Afrique de l'est, une préparation de l'écorce est utilisée comme remède contre les vers intestinaux et une préparation du bois est consommée contre la dysenterie (Watt et Breyer-Brandwijk 1962).

Au Togo, selon Adjanooun et al. (1986), *T. guineensis* est consommé sous forme de décocté de feuilles pour contrer l'hypertension avec ou sans *Gardenia ternifolia* Schum. & Thonn. Le décocté de tiges feuillées est utilisé en bains dans les cas de crises convulsives chez l'enfant et le décocté d'écorce de tronc et de racines est gargarisé pour traiter les problèmes reliés à la sphère ORL.

Aké Assi et Guinko (1991) relatent les utilisations suivantes pour l'Afrique de l'ouest: un décocté de feuilles est bu durant une semaine dans les cas d'accès fébrile; une décoction de feuilles âgées et séchées est bue à raison d'un litre par jour environ pour traiter l'hypertension ou la toux; dans les problèmes reliés aux vers (intestinaux), une décoction de racines mélangée à du savon noir est consommée en une seule prise et une pâte préparée à partir de feuilles mélangées avec du jus de citron est employée pour le massage des gencives pour apaiser les maux de dents.

## CHAPITRE 3

### LE TOGO, MILIEU NATUREL

La République Togolaise est un petit état d'Afrique occidentale bordé à l'ouest par le Ghana, au nord par le Burkina Faso et à l'est par le Bénin. La région méridionale, côtière, donne sur le golfe du Bénin. Sa superficie de 56 600 km<sup>2</sup> le rend comparable, en taille du moins, à la péninsule gaspésienne au Québec. Environ 600 km séparent la capitale Lomé au sud (~ 6° 05' N) de la frontière burkinabé au nord (~ 11° 05' N) et la plus grande distance selon l'axe est-ouest, située aux environs du 9° degré de latitude nord, est d'environ 150 km (entre 0° 20' E et 1° 40' E). Sur la côte, Lomé, à la frontière ghanéenne, est séparée d'Aného, à la frontière béninoise, par environ 45 km. Une chaîne de montagne, l'Atakora, divise le pays du sud-ouest au nord-est, environ du 7° au 10° degré de latitude nord.

Malgré cette superficie réduite, le Togo, de par sa forme allongée du nord au sud, présente néanmoins une diversité physique contrastée et une diversité biologique représentant plusieurs biômes tropicaux. Plusieurs ethnies d'origines différentes s'y partagent le territoire du nord au sud.

Il serait pertinent de diviser le pays en différentes régions qui permettraient une description plus ordonnée des diverses particularités physiques et écologiques rencontrées au pays. Ern (1979) a étudié les différentes grandes formations végétales présentes au Togo et a défini cinq régions écologiques. La distribution floristique étant corrélée avec plusieurs facteurs environnementaux, ces cinq régions écologiques correspondent également, *grosso modo*, aux principales zones climatiques et géomorphologiques du pays. Ces cinq zones écologiques seront donc décrites et, parallèlement, les autres caractères physiques.

Les cinq zones écologiques sont identifiées par un numéro de I à V en partant du nord vers le sud (Figure 7). La zone I, située complètement au nord du pays s'étend vers le sud jusqu'à la chaîne de montagne de l'Atakora située à environ 150 km de la frontière septentrionale. Cette zone, *les plaines du nord* selon l'appellation de Ern (1979) pourrait aussi être identifiée, selon l'usage plus répandu, par le terme de *savane soudanaise*. La zone II, ou *les montagnes du nord-Togo*, est essentiellement composée du versant nord de la partie septentrionale de la chaîne de l'Atakora, de la frontière ouest vers le Ghana à celle de l'est vers le Bénin. La zone III, *les plaines du centre*, occupe une grande superficie au sud de l'Atakora jusqu'à environ 100 km au nord de la côte, où une autre zone débute. Cette zone est typique des *savanes guinéenne* où la strate arborescente est plus développée et dense que dans les savanes soudanaises. La zone IV, ou *montagnes du sud-ouest*, est composée de la partie sud-ouest de la chaîne de l'Atakora caractérisée par de vastes plateaux. Il s'agit d'une zone typiquement forestière où les restes — car la pression anthropique y est de plus en plus forte — de forêts hautes et humides subsistent par endroits. La dernière zone, la zone V ou *plaine côtière*, située entre la zone III et la côte, est distincte principalement d'une part par l'existence de deux saisons humides par année (phénomène qui n'est pas rencontré plus au nord sauf en quelques endroits dans la zone IV) et d'autre part, plus on approche de la côte, par l'influence de l'océan et des vents aux niveaux climatiques et géomorphologiques. Les Figures 8 à 10 présentent les données de pluviométrie, d'évapotranspiration potentielle (ETP, méthode de Penman) et de température par station pour toutes les zones écologiques (données de la Direction de la climatologie nationale, division de la climatologie, Lomé, Togo).



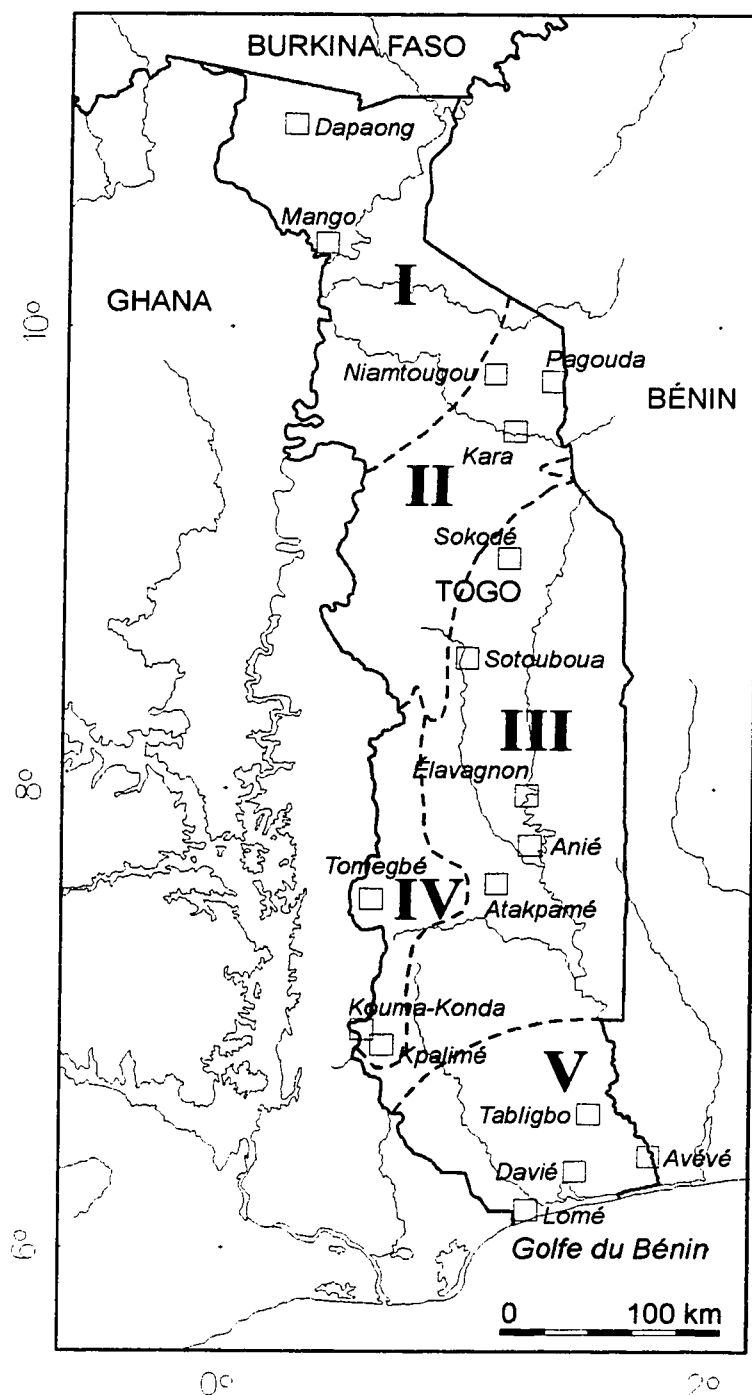


Fig. 7. Division du Togo en cinq zones écologiques selon Ern (1979). Zone I: les plaines du nord, zone II: les montagnes du nord, zone III: les plaines centrales, zone IV: les montagnes du sud-ouest, zone V: la zone côtière.

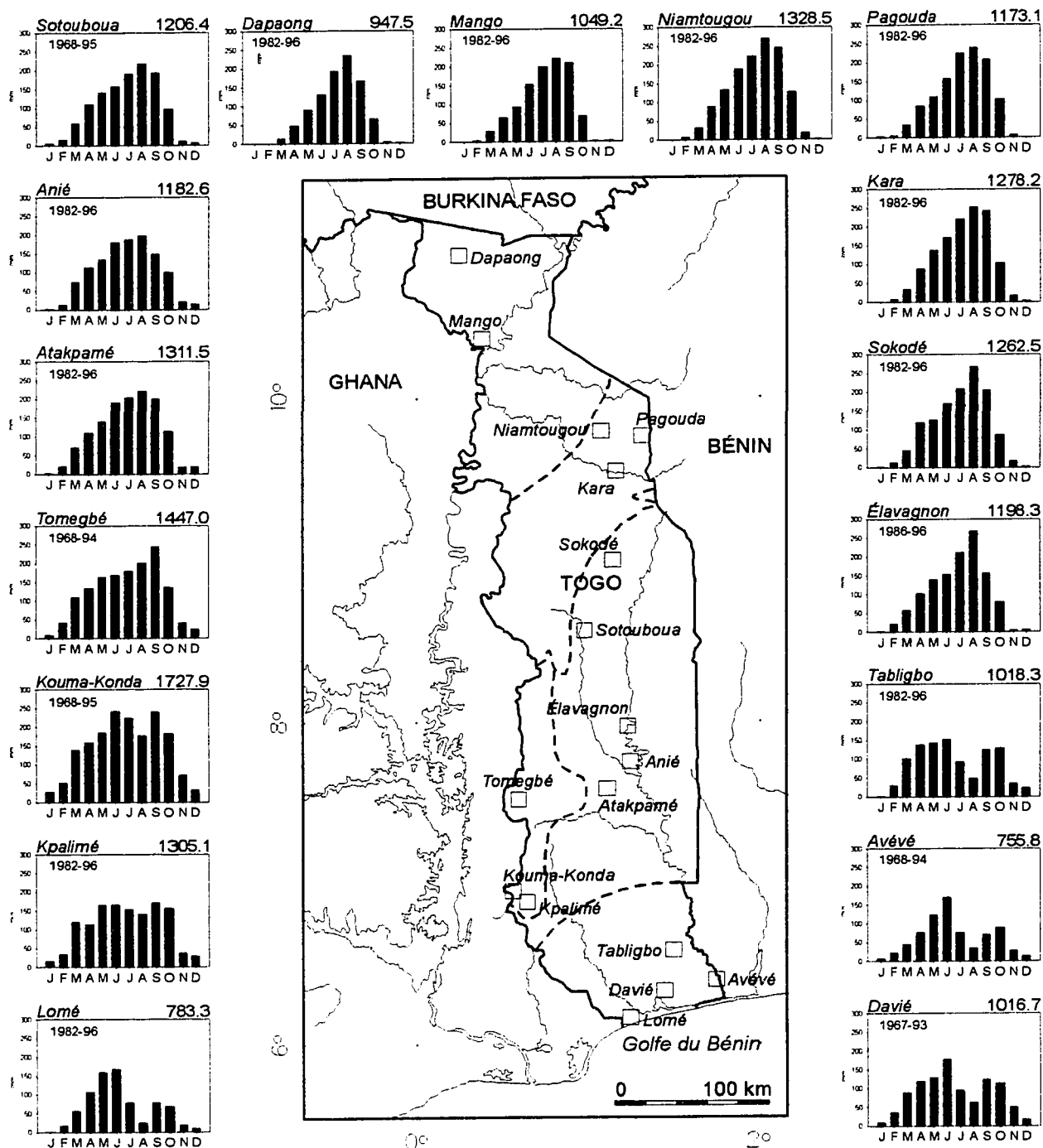


Fig. 8. Données de pluviométrie pour le Togo. Les valeurs annuelles moyennes (mm) sont indiquées à droite au-dessus de chaque graphique. Les années utilisées pour ces calculs sont indiquées dans chaque graphique. Noter la présence de deux saisons humides dans quelques stations de la zone IV et dans la zone V.

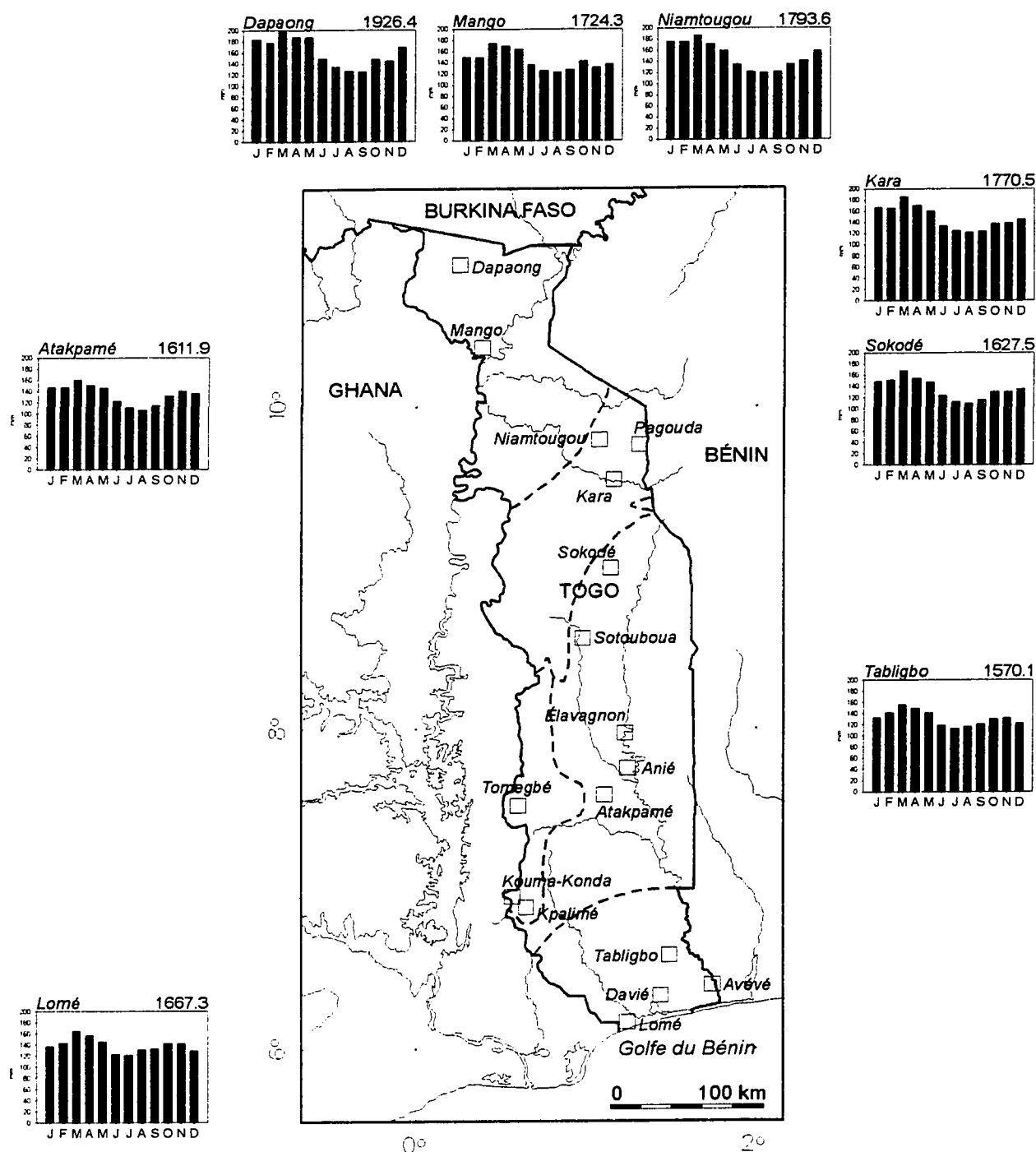


Fig. 9. Données d'évapotranspiration potentielle pour le Togo (ETP, méthode de Penman). Les valeurs annuelles moyennes (mm) sont indiquées à droite au-dessus de chaque graphique. Données de 1982 à 1992.

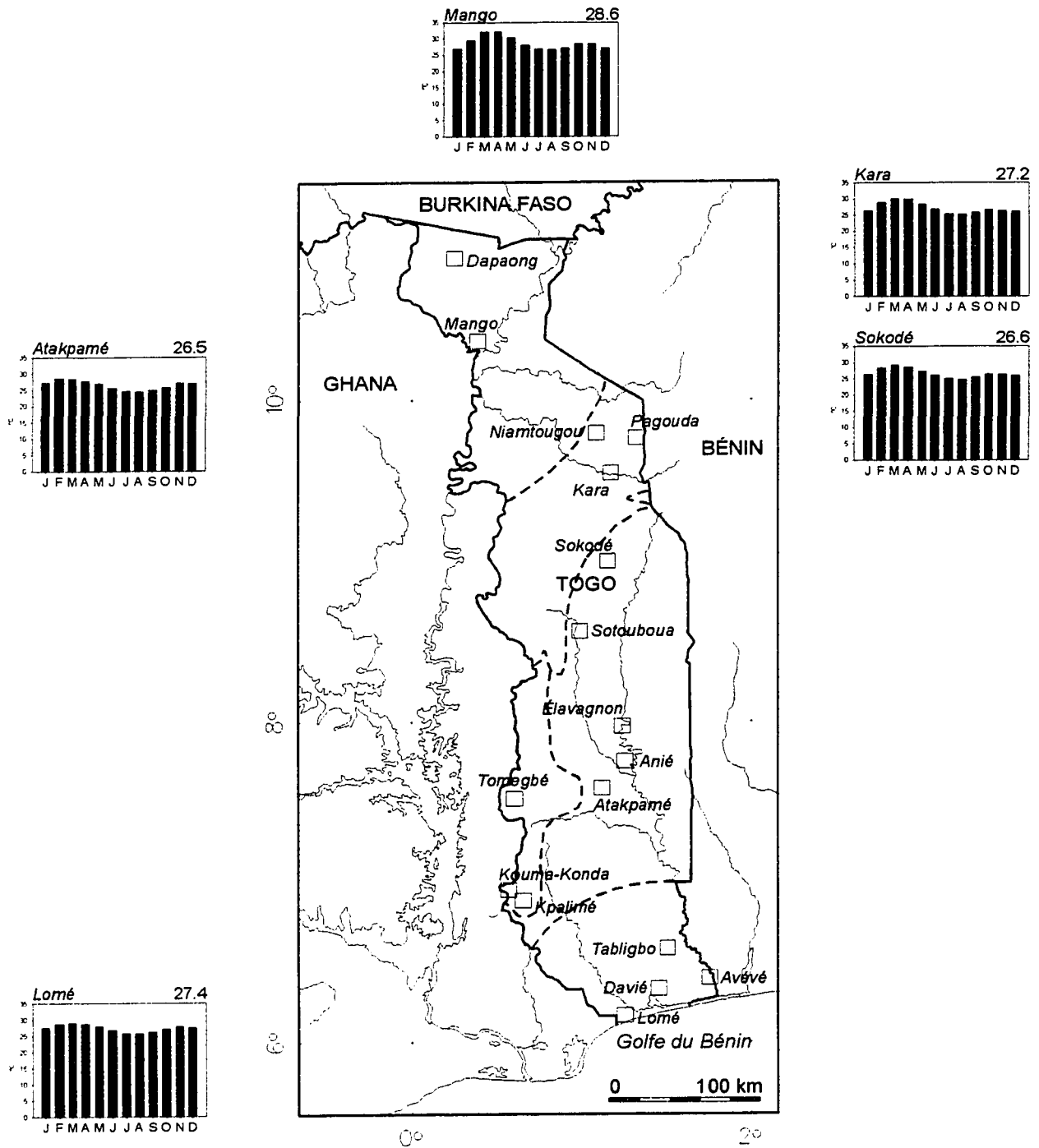


Fig. 10. Données de température pour le Togo (1982-1996). La température annuelle moyenne (°C) est indiquée à droite au-dessus de chaque graphique.

La température ne variant pas beaucoup, de 26.5°C en moyenne annuelle à Atakpamé près des montagnes du sud à 28.6°C à Mango dans le nord du pays, et aussi du fait que les données de seulement cinq stations ont pu être obtenues, ce facteur climatique ne sera pas traité en détail pour chaque zone. Plus on va vers le nord, plus la température est élevée, mais ceci peut être dû au fait que dans le nord, la végétation est moins dense et la réverbération plus intense, augmentant légèrement la température moyenne. Certes, quelques zones de micro-climats existent probablement sur l'étendue du territoire, en région montagneuse possiblement, mais il s'agit sûrement de phénomènes très localisés et impossible à analyser en détail ici.

L'évapotranspiration potentielle diminue sensiblement du nord au sud avec un maximum à Dapaong (1926.4 mm) dans la zone I et un minimum à Tabligbo (1570.1 mm) dans la zone V. Aucune donnée n'est disponible pour la zone IV et on pourrait probablement y rencontrer les valeurs les plus basses de par l'altitude et l'humidité de l'air élevées.

### 3.1. *Zone I: Les plaines du nord (la savane soudanaise)*

#### 3.1.1. Relief, sols, hydrographie

Physiquement, la zone I est une plaine située à une altitude de 150 à 250 m généralement et entrecoupée de *dembos*, ou affleurements rocheux pouvant s'élever à plus de 300 m (Figures 11-12). En faisant exception des escarpement rocheux des *dembos*, qui ne possèdent pratiquement pas de sols au sens strict du terme, ceux-ci y sont principalement de type ferrugineux à sesquioxides à

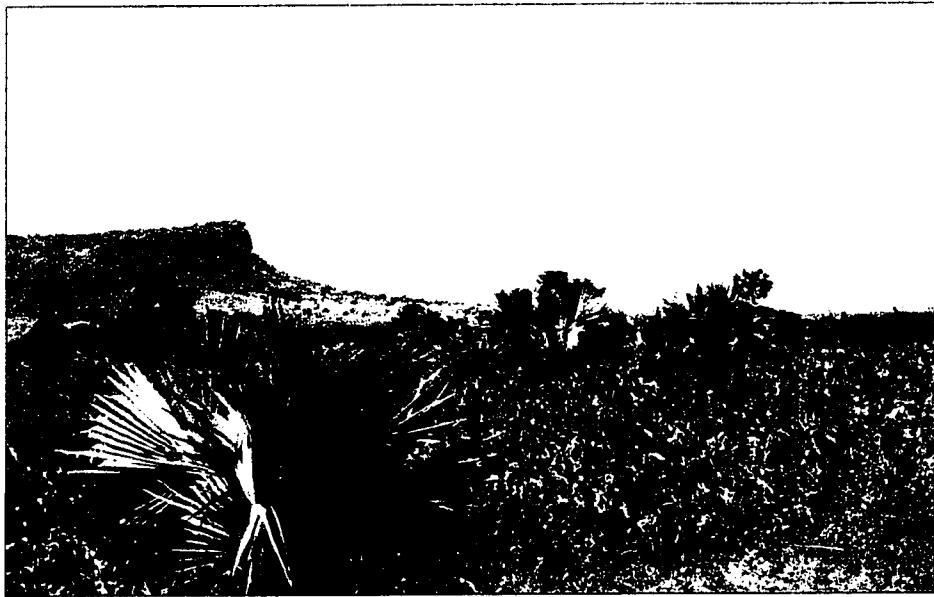


Fig. 11. Relief typique de la région des plaines du nord (ou savane soudanaise). On remarquera en arrière-plan, un exemple d’affleurement rocheux, ou *dembo*. Les palmiers à l’avant-plan sont des rôniers (*Borassus aethiopum*, Arecaceae), typiques de la zone I.



Fig. 12. Paysage de savane soudanaise rencontré dans la zone I. Remarquer la présence de graminées (Poaceae) en grande quantité, un facteur alimentant les feux de brousses en période sèche.

concrétions et cuirasses sur schistes, donc fortement latérisés et d'une aptitude culturale médiocre car trop peu meubles, ayant un potentiel de rétention de l'eau très faible et étant facilement érodés. Néanmoins, en plusieurs endroits, la cuirasse est réduite, ce qui rend ces sols très attrayant pour la culture, un attrait qui crée une sur-culture et un épuisement rapide des éléments minéraux. Quelques endroits annuellement inondés en saison humide le long des cours d'eau jalonnant le territoire (les fleuves Oti, Koumongou et Kara, affluents de la Volta plus à l'ouest, étant les plus importants) ont un potentiel agricole intéressant. La culture de l'igname, du maïs, du mil et du haricot est cependant pratiquée sur le territoire et celle du riz près des cours d'eau (Lamouroux 1969). Il est intéressant de constater que cette région est habitée, surtout à l'extrême nord, par plusieurs peuples sahéliens qui pratiquent l'élevage bovin traditionnel. Ces peuples ont probablement dû s'adapter à un environnement si hostile à l'agriculture qu'ils ont choisi de pallier au faible rendement agricole par l'élevage. Il est vrai aussi que l'endroit est adéquat pour de telles pratiques, la mouche tsé-tsé, un problème pour les éleveurs du sud, ne survivant pas à ces endroits (Ern 1979).

### 3.1.2. Climat

Le climat dans la zone I est sec et chaud. Une seule faible saison des pluies affecte la région à chaque année de mai à septembre environ et est suivie d'une saison sèche rigoureuse, rendue plus difficile encore par l'Harmattan, un vent soufflant des régions désertiques plus au nord et accentuant la sécheresse.

### 3.1.3. Floristique

L'Association climax de la zone I, aux endroits à l'abri de l'influence des eaux de crues et des nappes phréatiques, est composée de forêts sèches où des espèces arborescentes des familles Fabaceae et Combretaceae sont dominantes, avec quelques Anacardiaceae, Burseraceae et Sterculiaceae. Les pressions anthropiques aidant, l'association climax se voit dégradée et est remplacée par une flore composée de graminées (Poaceae) et d'espèces épineuses résistantes aux feux de brousse. Ces formations, résistantes aux feux de brousses, sont typiques des savanes soudanaises et Sanford et Isichei (1986) les considèrent distinctement sous l'appellation de *Sahel short grasslands*.

En certains endroits, le long des cours d'eau principalement, les formations de forêts-galeries (Figure 13) contiennent des espèces typiques des régions plus méridionales comme la savane guinéenne de la zone III (Ern 1979).

## 3.2. *Zone II: Les montagnes du nord-Togo*

### 3.2.1. Relief, sol, hydrographie

Cette zone est composée du versant nord de la chaîne de l'Atakora qui se décompose en une suite de petits massifs plus ou moins isolés dont la hauteur dépasse rarement 800 m (Figure 14). Les sols y sont de plusieurs types: à sesquioxides ferrugineux lessivés à concrétions et cuirasses sur schiste et jaspes ou sur granit dans les zones plutôt plates; faiblement ferralitiques modaux sur roches





**Fig. 13. Un exemple de forêts-galerie rencontrées dans tout le pays le long des cours d'eau.**



**Fig. 14. La zone II, les montagnes du nord, est constituée de petits massifs à une altitude inférieure à 800 m.**

basiques surtout dans les montagnes et à leur base; ou encore ce sont simplement des lithosols peu évolués au sommet des montagnes. Les sols à sesquioxydes ferrugineux, comme nous l'avons vu précédemment, ne sont pas propice à l'agriculture. Les sols ferralitiques, présents dans les zones où les précipitations sont les plus élevées (> 1300 mm) ne sont guère mieux mais sont quand même plus meubles que les précédents. L'érosion constitue ici aussi un problème et le défrichage de ces régions pour le bois ou pour libérer des terres à cultiver menace ces sols (Lamouroux 1969).

### 3.2.2. Climat

La zone II, bien que n'étant sujette qu'à une seule saison humide pendant l'année et subissant les effets de l'Harmattan pendant la longue saison sèche, de part sa position en montagne, est arrosée par endroits de précipitations parmi les plus élevées au Togo (voir Figure 8). C'est ce qui a donné naissance aux sols ferralitiques plus riches de la région.

### 3.2.3. Floristique

La flore typique de la région, influencée par la faiblesse des précipitations et par la sécheresse apportée par l'Harmattan à chaque année, est complètement différente de la zone sud-ouest de l'Atakora (zone IV). Sur les sols rocaillieux de la zone II croît une forêt sèche typique à *Caesalpiniaceae*, *Euphorbiaceae* et *Dipterocarpaceae*. En certains endroits plus humides (*e.g.* région en altitude d'Alédjo à 9°15' N 1°15' E, altitude ~ 600 m), où des restes de forêts sacrées subsistent, on peut trouver des grands spécimens de *Milicia excelsa*, l'iroko utilisé extensivement en charpenterie

et en menuiserie, et d'*Antiaris africana*, deux espèces de la famille Moraceae. Ces communautés préservées suggèrent la présence à l'origine de forêts hautes plus mésophiles. Les pressions anthropiques dans la zone en général sont telles que dès 1924, les autorités coloniales françaises — préoccupées également il est vrai par l'exode de la population vers la Gold Coast (actuel Ghana) — avaient décidé de favoriser la colonisation de territoires inutilisés dans le sud du territoire. Plusieurs milliers de fermiers Kabyè et Losso des montagnes du nord allèrent ainsi fonder de nouveaux villages principalement dans la région d'Atakpamé, à environ 250 km plus au sud (Cornevin 1962).

La déforestation de ces zones climaciques entraîne l'implantation d'espèces plus ou moins buissonnantes sur le sol rocheux mis à nu. Enfin, comme dans le cas de la zone I, le long des cours d'eau croît une végétation plus luxuriante rappelant les zones montagneuses du sud-ouest de l'Atakora. Une espèce d'importance économique rencontrée dans ces forêts-galeries est le palmier, *Elaeis guineensis*, qui fournit de l'huile destinée à la consommation locale et à l'exportation (Ern 1979).

### 3.3. Zone III: Les plaines du centre (la savane guinéenne).

#### 3.3.1. Relief, sol, hydrographie

La zone III forme une vaste plaine au sud-est de la chaîne de montagne de l'Atakora jusqu'aux environs de Notsé au sud, à environ 100 km de la côte (Figures 15-16). Elle constitue la plus grande



Fig. 15. La zone II, les plaines du centre, possède une physionomie caractéristique de zones de savanes guinéennes avec des espèces ligneuses dispersées sur un fond de graminées (Poaceae).



Fig. 16. La zone III, vue d'un autre endroit. Remarquer les grands arbres par endroits.

formation écologique reconnue par Ern (1979). Les sols y sont essentiellement de type à sesquioxides ferrugineux à concrétions et cuirasses, les rendant peu propice à l'agriculture. Cependant, des zones de sols ferrallitiques sur roches basiques, particulièrement dans la vallée de la rivière Mono qui coule du nord au sud de la zone, permettent une agriculture relativement développée. Le Mono, avec ses affluents, constitue la seule source d'énergie hydraulique d'importance du pays depuis qu'un barrage a été construit à Nangbéto, au sud-est d'Atakpamé.

### 3.3.2. Climat

Le climat de la zone III, de par la grande superficie occupée, varie beaucoup selon les endroits. Certains facteurs climatiques sont cependant constant sur l'étendue du territoire: une seule saison humide mais plus intense, effets de l'Harmattan réduits et moins de cinq mois secs par année. On constate une diminution graduelle des précipitations du nord vers le sud et nous verrons plus tard que cette tendance se poursuit, à l'encontre de ce à quoi l'on pourrait s'attendre, jusqu'à la côte.

### 3.3.3. Floristique

L'association climax de la zone III est une forêt sèche, selon l'expression de Ern (1979), composée des familles Caesalpiniaceae (*e.g. Afzelia africana*), Combretaceae (*Anogeissus leiocarpus*), Ebenaceae (*Diospyros mespiliformis*), Meliaceae (*Khaya senegalensis*, l'acajou) et plusieurs autres espèces de grands arbres souvent économiquement intéressant. Des plantations de Tecks (*Tectona*

*grandis*, Verbenaceae, Figure 17) importantes sont retrouvées dans cette zone. Les graminées (Poaceae) sont rares dans ces formations.

Le terme de savane guinéenne prend tout son sens avec le défrichage résultant des besoins en bois de la population grandissante. Il n'est pas rare de rencontrer des camions chargés de bois destiné à la vente dans la capitale comme bois de chauffe ou pour la production de charbon de bois et originant des quelques restes de forêt de la zone III. Plusieurs personnes se font une profession de ce type de commerce très nuisible pour les communautés végétales. Une flore composée de graminées (Poaceae) comme *Andropogon* et *Hyparrhenia* prendra rapidement la place laissée dans les nouvelles clairières et sont à l'origine des feux de brousses réguliers (Figure 18). Il s'ensuit une diminution de la diversité végétale alors que seules les espèces résistantes au feu pourront survivre. L'espèce caractéristique de cette zone est *Daniellia oliveri* (Caesalpiniaceae), un arbre de taille moyenne à la cyme évasée typique. D'autres espèces ligneuses, rencontrées uniquement plus au nord aux endroits les plus humides comme les forêts-galeries, suivront donc et donneront à la zone sa morphologie typique. Les forêts-galeries de la zone III sont très riches en espèces, conséquence de l'humidité plus élevée (Ern 1979).



Fig. 17. Une plantation de Tecks (*Tectona grandis*, Verbenaceae) comme on en retrouve plusieurs dans la zone III.



Fig. 18. Un feu de brousse en saison sèche. Ces feux permettent une régénération des éléments nutritifs mais sélectionnent les plantes résistantes au feu et résultant en une diminution de la diversité végétale.

### 3.4. Zone IV: Les montagnes du sud-ouest

#### 3.4.1. Relief, sol, hydrographie

La zone IV est composée de la région montagneuse et de plateaux du sud-ouest de la chaîne de l'Atakora (Figure 19). Un ensemble de facteurs, l'abondance des précipitations, l'humidité élevée de l'air et une position annulant les effets de l'Harmattan font en sorte que cette zone est des plus fertiles et on y retrouve des conditions propices au développement de forêts tropicales de type humide. La région de plateaux aux pentes très abruptes se divise en trois: le plateau de Danyi au sud de la zone, celui d'Akposso plus au nord et finalement celui d'Akébou au nord. L'altitude est maximale dans le sud des plateaux et atteint près de 1000 m. Elle diminue lentement vers le nord et le plateau d'Akébou n'est plus qu'à une altitude approximative de 600 à 650 m. De petits cours d'eau jalonnent le paysage et se jettent dans les plaines de l'ouest (Ghana) et de l'est (zone III) en plusieurs cataractes impressionnantes (Figure 20). Les sols y sont riches et profonds, le plus souvent de type ferralitique typique sauf aux sommets dénudés où il n'y a pas de sol proprement dits (Lamoureux 1969).

#### 3.4.2. Climat

Le climat de la zone IV est le plus humide au Togo. Les précipitations dépassent par endroit 1700 mm de pluie par année. Deux saisons humides, plus ou moins accentuées selon l'endroit, existent dans la région. Le nombre de mois secs (< 50 mm pluie) est faible, généralement moins de quatre et à certains endroits seulement deux.





Fig. 19. La zone IV, les montagnes du sud-ouest, est la plus humide des zones écologiques du Togo, et celle possédant les sols les plus riches. Remarquer le brouillard en arrière-plan où l'on devrait pouvoir observer la ville de Kpalimé plus bas.



Fig. 20. La cascade d'Adomi-Abra, plateau d'Akposso.

### 3.4.3. Floristique

La végétation est de deux types principalement: la zone forestière, avec des espèces retrouvées habituellement en zone de forêt tropicale humide et la zone de savanes de montagnes (voir ci-dessous). La zone forestière (Figure 21) est composée de grand arbres typiques des forêts tropicales humides comme *Milicia excelsa* (Moraceae), *Khaya grandifoliola* (Meliaceae), *Daniellia thurifera* (Caesalpiniaceae), *Erythrina mildbraedii* (Papilionaceae, syn. Fabaceae), *etc.* C'est dans cette zone que l'on peut rencontrer, si l'on est chanceux, *Ancistrophyllum guineensis*, le palmier grimpant qui est considéré comme rare et menacé au Togo (Akpagana *et al.* manuscrit non publié). Aussi, on rencontrera aux endroits les plus humides, le long des cours d'eau par exemple, d'autres espèces arborescentes de grande taille des familles Mimosaceae et Fabaceae. C'est dans ces forêts que l'on pratique la culture, sans retombées commerciales importantes vu la faible superficie exploitable, du caféier (*Coffea* spp., Rubiaceae) et du cacaoyer (*Theobroma cacao*, Sterculiaceae).

Le deuxième type de végétation est constitué par les formation de savanes de montagnes, rencontrées dans les sommets et qui est semblable aux formations typiques de savanes guinéennes de la zone III avec des graminées (Poaceae) et des arbres de taille moyenne. Les feux de brousse y sont aussi pratiqués en saison sèche et créent parfois des problèmes embêtants dans cette zone montagneuse (Figure 22).



Fig. 21. La zone IV comprend les seules formations de forêt tropicale humide au Togo, formations très dégradées soit dit en passant. Sous la canopée visible se cache des plantations de caféiers (*Coffea* spp., Rubiaceae).



Fig. 22. Les feux de brousses, présents dans la zone IV en saison sèche malgré le taux d'humidité plus élevé qu'ailleurs au pays, peuvent causer des problèmes inattendus. Ici un arbre dont la base a été victime du feu est tombé au milieu de la voie.

### 3.5. Zone V: La zone côtière

#### 3.5.1. Relief, sols, hydrographie

La zone côtière comprend d'abord toute la région littorale de sols azonaux qui s'étendent de la côte vers l'intérieur du pays sur une distance de quelques dizaines de kilomètres et caractérisée par une faible altitude générale (inférieure à 40 m, Figure 23) et des bas-fonds où les divers cours d'eau qui y aboutissent forment plusieurs lagunes et zones régulièrement inondées, dont la plus importante est le lac Togo, à 10 km à l'est de Lomé (Figures 24-25).

Plus au nord, on remarque une augmentation notable en altitude jusqu'à un plateau à une altitude de 100 à 200 m au dessus du niveau moyen de la mer. Ce plateau est constitué de sédiments tertiaires, les Terres de Barres (*Tierro Barro*), une formation aussi connue sous le nom de *continental terminal* (Lamouroux 1969), fortement latérisées mais étant meubles et permettant assez facilement la culture traditionnelle du maïs et du manioc principalement. Quelques zones dispersées appartenant à cette formation au nord du lac Togo possèdent d'importants gisements de phosphates exploités et plus à l'est, on retrouve des roches calcaires utilisés dans la production de ciment.

#### 3.5.2. Climat

La zone côtière est particulière quant à son climat et, par conséquent, sa végétation. Normalement, sur la côte ouest-africaine du Sénégal au Cameroun, les précipitations diminuent du sud au nord et on remarque qu'après une mince région côtière à la végétation typique de cocotiers et d'arbustes succède une forêt tropicale humide dense suivie elle même d'une zone transitoire menant



Fig. 23. La plage sur le littoral togolais. L'érosion hydraulique est un problème et une partie de la terre ferme est grugée par la mer années après années.



Fig. 24. La rivière Mono au niveau d'Afanyagan dans la zone V. Sur la rive côté photographie, le Togo, sur la rive opposée, le Bénin.

à une savane guinéenne puis soudanaise telle que dans les zones III et I décrites ci-dessus. Sur la côte du golfe du Bénin, du Cap *Three Points* au Ghana jusqu'à la frontière Nigériane, il n'y a pas de zone de forêt tropicale humide. Plutôt, la zone côtière laisse immédiatement place à une zone de savane soudano-guinéenne rejoignant les zones guinéennes et soudanaises plus au nord sans interruption marquée, les précipitations moyennes augmentant régulièrement au Togo jusqu'à la chaîne de montagnes à quelques 350 km plus au nord puis s'abaissant abruptement à nouveau du côté nord. Ce phénomène est appelé *Dahomey gap* par certains (e.g. Sanford et Isichei 1986) et divise la ceinture de forêt tropicale humide en deux sections, à l'ouest et à l'est de cette anomalie. Les causes ne sont pas connues avec certitude mais la distribution dans un axe sud-ouest nord-est de la côte à cet endroit couplée à des vents dominants de l'ouest et à la présence de la chaîne de l'Atakora seraient les facteurs dominants. D'autres facteurs synergiques pourraient entrer en lignes de compte comme par exemple la température anormalement basse de l'océan au large de cette partie de la côte (voir Trewartha 1981). La zone V est soumise à un régime de double saison humide, de mai à juillet environ et de septembre à novembre avec une moindre intensité.

### 3.5.3. Floristique

Il ne sera pas surprenant de rencontrer une flore plutôt typique des savanes guinéenne et soudanaise près de la côte togolaise (Figure 26). Sur les sols sableux azonaux de la côte on rencontrera des espèces rampantes maritimes et, à l'est près de la frontière béninoise, dans l'estuaire de la Mono, de petites forêts de palétuviers (*Rhizophora racemosa*, Rhizophoraceae). On trouvera encore des bosquets de *Ficus* spp. (Moraceae) et de *Drepanocarpus* spp. (Fabaceae) dans les régions inondables ainsi que des espèces typiques des milieux humides.

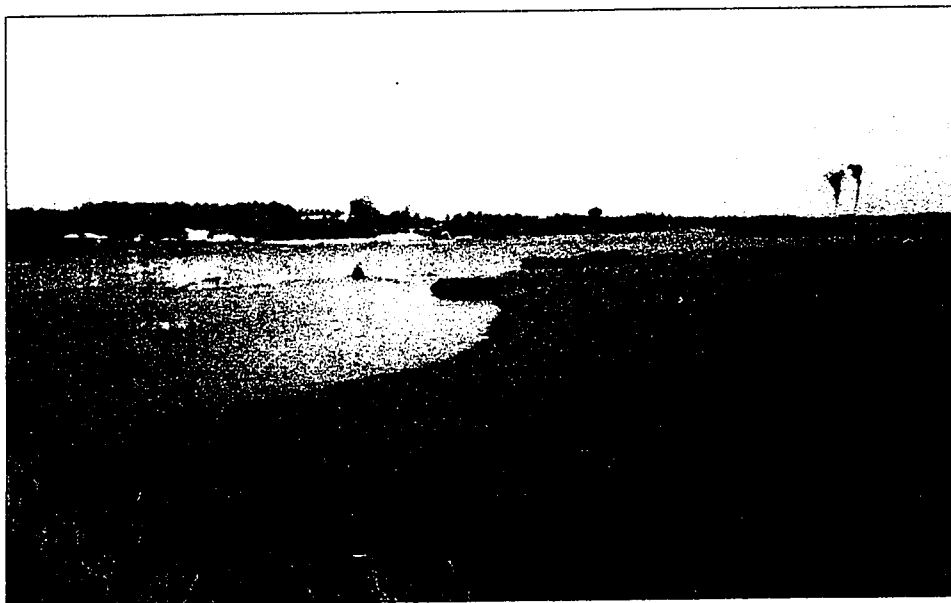


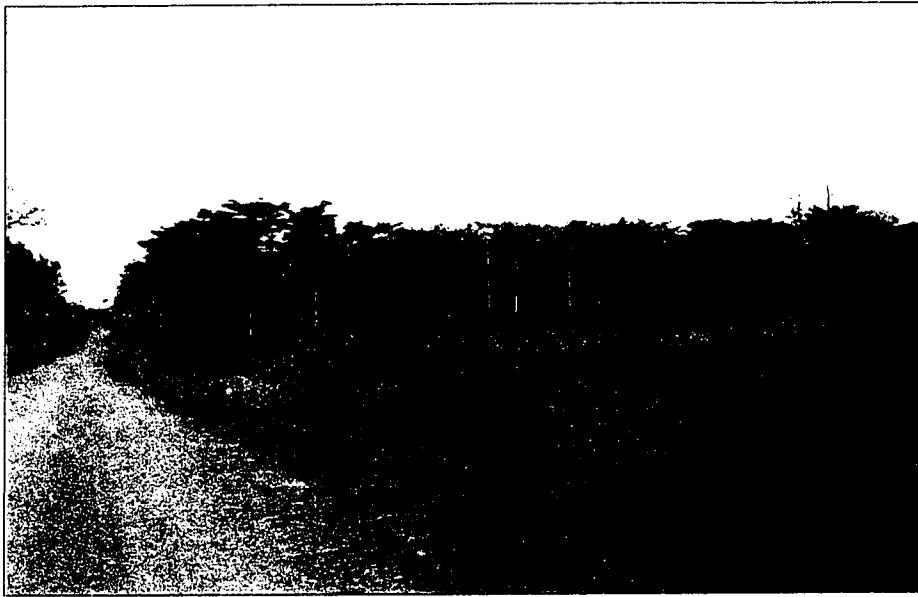
Fig. 25. La lagune d'Aného, dans l'est de la zone V près du littoral, est formée par la décharge du lac Togo quelques kilomètres plus à l'ouest qui lui même est alimenté par les fleuves Zio et Haho principalement. Ces zones sont régulièrement inondées.



Fig. 26. La plaine de la zone V. Le sol, les terres de barre ou *continental terminal*, sont très utilisées pour l'agriculture. À droite, on aperçoit un kapokier (*Ceiba pentandra*, Bombacaceae), dont le fruit produit des fibres cotonneuses utilisées pour rembourrer les matelas.

Plus au nord, dans la zone du *continental terminal*, une végétation similaire à la zone III (et quelque peu aussi à la zone I du fait des faibles précipitations) est retrouvée. Mais en raison des deux saisons humides, elle présente une toute autre phénologie qui la fit reconnaître par Ern (1979) comme distincte. Dans les forêts les moins dégradés de la région que l'on peut considérer comme l'association climax de cette zone, on rencontre des espèces arborescentes de taille moyenne comme *Antiaris africana* (Moraceae), *Albizia* spp. (Mimosaceae), *Celtis* spp. (Ulmaceae), etc (Figure 27). Les perturbations causées par l'homme (la zone est densément peuplée) sont à l'origine de l'apparition de la savane qui se distingue de la savane guinéenne typique par l'absence presque totale de *Daniellia oliveri* (Caesalpiniaceae). Les forêts-galeries de la zone V sont similaires à celles de la zone III (Ern 1979).





**Fig. 27. Une forêt encore intacte dans le nord de la zone V près d'Asrama. Ces formations sont rares et on peut constater que le terrain à droite semble avoir été récemment déboisé.**

**CHAPITRE 4**  
**ANALYSE DE TAXONOMIE NUMÉRIQUE DES**  
***TREMA* (ULMACEAE) DU TOGO, AFRIQUE OCCIDENTALE**

Ce chapitre constitue en fait un article qui sera publié conjointement avec les Profs Baum, Akpagana et Arnason dans le journal *Systematic Botany*. Le texte a été adapté pour convenir au format requis pour la présente thèse. L'annexe 3, qui ne sera pas soumise pour publication, a été ajoutée. Une discussion telle que requise pour publication est incluse à la fin du chapitre mais certains points plus généraux ne seront discutés que plus tard, au chapitre 7.

#### 4.1. INTRODUCTION

*Trema guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho (Ulmaceae) is a widespread pioneer species in most of sub-Saharan Africa occurring mainly in fallows and in forest clearings (Hutchinson and Dalziel 1958). The species is used in traditional medicine in West Africa to treat a number of diseases including intestinal worms (Holland 1922; Dalziel 1937; Aké Assi and Guinko 1991; Ayiku 1992; Iwu 1993), hypertension (Adjanohoun *et al.* 1986; Aké Assi and Guinko 1991) and mouth-associated infections (Adjanohoun *et al.* 1986; Aké Assi and Guinko 1991; Iwu 1993).

Controversy exists as to whether this species should be recognized as different from the Asiatic *T. orientalis* (L.) Bl. (Leroy 1952; Polhill 1964). Also, owing to a multitude of synonyms previously collected and identified from Africa, it is not clear if only one species or many different ones really exist in Africa (Rendle 1917; Hutchinson & Dalziel 1958; see Polhill 1964, for a review of the synonyms). Polhill (1964) transferred all the african names as synonyms of *T. orientalis* based on the morphological variation between specimens and because few morphological characters were correlated with each other or with environmental factors, a view accepted by many authors working in West Africa (*e.g.* Brunel *et al.* 1984).

Based on observations in the field in Togo and neighboring countries, the morphological variation in the *T. guineensis* complex is quite obvious. The leaf size, shape and vestiture as well as the distribution of *T. guineensis* are particularly variable but this variability does not seem to rule out the possibility that consistent groups are present, at least in the area surveyed.

Tchoumé (1980) surveyed the morphological variation in West African *Trema* spp. and concluded that three species were present in the area, namely: *T. orientalis*, *T. hochstetteri* (Buch. ex Planch.)

Engl. and *T. parvifolia* (Schum. & Thonn.) Tchoumé, the latter being described by the author as a new species. Although this study examines the morphology, phenology, distribution and growth habit of vouchers and live specimens mainly from Ivory Coast, these characters, used to discriminate the three species, were not described objectively and are difficult to assess practically on the field. Also, the value of leaf characters as good discriminators is rejected by the author. Moreover, no numerical methods, that could have allowed for a better quantification of the differences between each species, are included. It is therefore difficult to consider this three-species classification and relevant methods need to be used to estimate the actual number of taxa present in the area, without any *a priori* knowledge of it.

The present study was aimed at assessing the number of distinct taxonomic groups that may exist in Togo and neighboring countries in West Africa belonging to the *T. guineensis* species complex, and at evaluating the validity of these groups as taxa. Furthermore, the existence of correlations between these taxa and environmental factors that could help in identifying the habitat preference of each group was also examined. The collection of data and field observations were carried out mainly in the Republic of Togo, West Africa, but some observations were also made in the neighboring countries of Ghana and Ivory Coast.

Knowledge of the variation of the *T. guineensis* complex and its classification into different taxa, along with the test of different biological activities exhibited by each may contribute toward a better medicinal use of the species by the local healers of the area and conservation of all biotypes.

## 4.2. MATERIALS AND METHODS

### 4.2.1. *Specimen Collection and Characters Scoring*

A total of 158 specimens identified as *T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho were collected between May 1996 and April 1997 mainly in the Republic of Togo, West Africa. Some were also collected in Ghana and Ivory Coast (Figure 28, Appendix 1). All specimens are deposited at DAO and TOGO (see Holmgren *et al.* 1990 for abbreviations).

Morphological and environmental observations were noted upon collection and the specimens were dried in a plant press and brought back to Ottawa. Seeds were also collected on some specimens and stored in a refrigerator.

### 4.2.2. *Morphological Data and Analyses.*

A total of 44 morphological characters were measured on the collected specimens (Table 2). In the case of leaf characters, three leaves per specimens were sampled, the longest (most of the time a node leaf), the shortest (but fully developed) and another one taken randomly. This allowed for an objective and consistent estimate of the overall variation in leaf shape among the specimens. Herbarium specimens from DAO, F, GC, MO, MT, P, SFS, TOGO and WAG were also used for examination but were not included in the numerical analysis.

The coefficient of similarity of Gower (1971) was computed for every pair of OTUs using a SAS macro. The Gower coefficient of similarity is suitable here for it allows the use of binary, alternative, qualitative, quantitative and semi-quantitative characters as well as taking into account missing values,

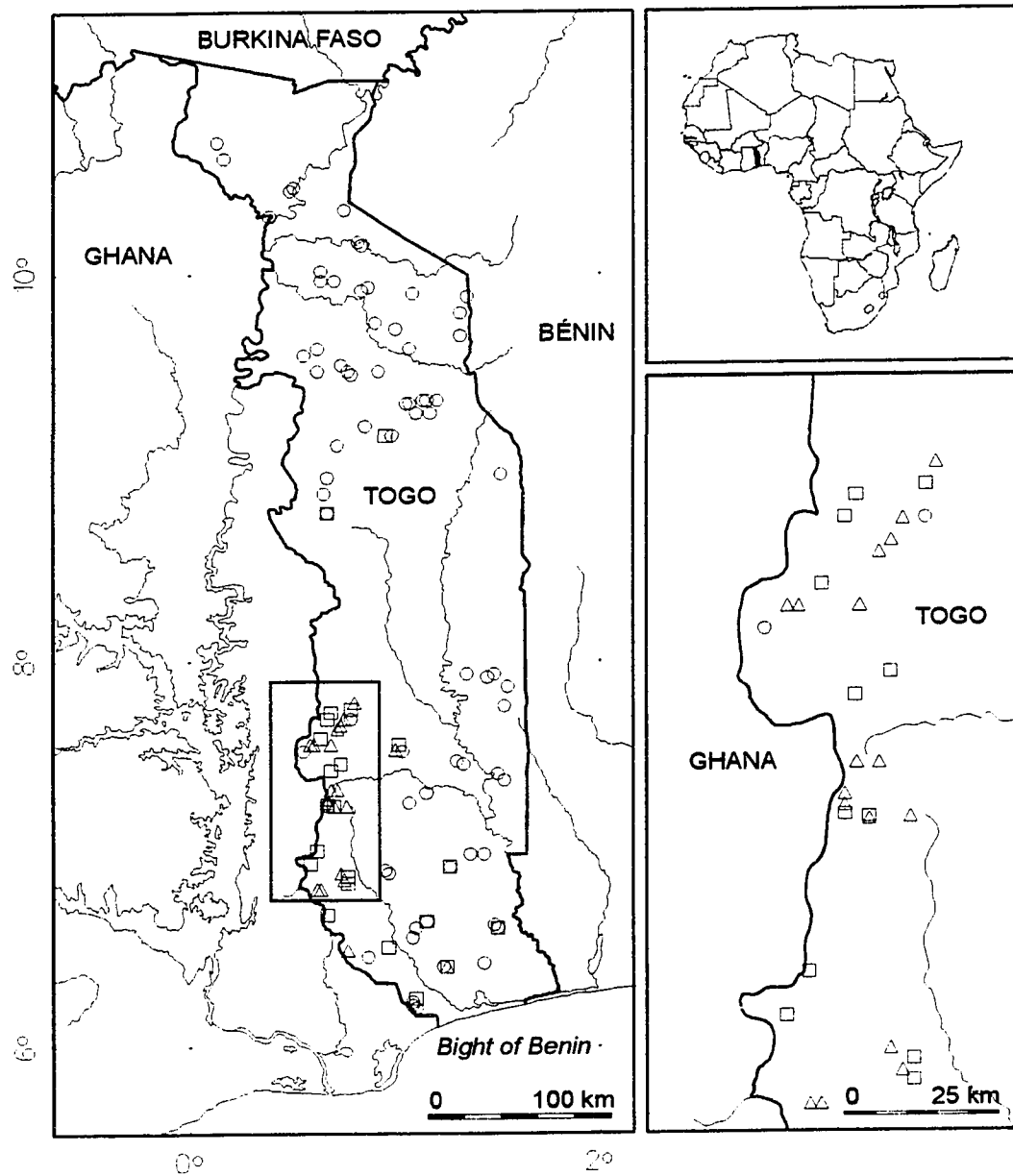


Figure. 28. Locations of collected specimens in Togo. ○: *T. africana*, □: *T. orientalis*, △: *T. nitens*.

Table 2: Characters scored for the study of *Trema* from West Africa. The characters kept in the multivariate analysis are preceded by a \*.

---

|   |                                                                                          |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | 1. Vestiture of terminal branches (0, glabrous; 1, strigose; 2, pubescent; 3, tomentose) |
|   | Length (mm):                                                                             |
| * | 2. Longest leaf                                                                          |
| * | 3. Intermediate length leaf                                                              |
| * | 4. Shortest leaf                                                                         |
|   | Maximum width (mm):                                                                      |
| * | 5. Longest leaf                                                                          |
| * | 6. Intermediate length leaf                                                              |
| * | 7. Shortest leaf                                                                         |
|   | Length of acumen (mm):                                                                   |
| * | 8. Longest leaf                                                                          |
| * | 9. Intermediate length leaf                                                              |
| * | 10. Shortest leaf                                                                        |
|   | Width of acumen (mm):                                                                    |
| * | 11. Longest leaf                                                                         |
| * | 12. Intermediate length leaf                                                             |
| * | 13. Shortest leaf                                                                        |
|   | Acumen angle (0, absent; 1, <60°; 2, 60-75°; 3, >75°):                                   |
| * | 14. Longest leaf                                                                         |
| * | 15. Intermediate length leaf                                                             |
| * | 16. Shortest leaf                                                                        |
|   | Average distance between leaf base and first pair of lateral nerves (mm):                |
| * | 17. Longest leaf                                                                         |
| * | 18. Intermediate length leaf                                                             |
| * | 19. Shortest leaf                                                                        |

---

Table 2. (continued)

---

|   |                                                                                          |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Half-sum of secondary nerves:                                                            |
| * | 20. Longest leaf                                                                         |
| * | 21. Intermediate length leaf                                                             |
| * | 22. Shortest leaf                                                                        |
|   | Base of leaf (0, acute or normal; 1, cordate):                                           |
| * | 23. Longest leaf                                                                         |
| * | 24. Intermediate length leaf                                                             |
|   | 25. Shortest leaf                                                                        |
|   | Teeth density (/cm):                                                                     |
| * | 26. Longest leaf                                                                         |
| * | 27. Intermediate length leaf                                                             |
| * | 28. Shortest leaf                                                                        |
|   | Leaf adaxial surface vestiture (0, glabrous; 1, scabrous; 2, strigose; 3, pubescent; 4,  |
| * | 29. Longest leaf                                                                         |
| * | 30. Intermediate length leaf                                                             |
| * | 31. Shortest leaf                                                                        |
|   | Leaf abaxial surface vestiture (0, glabrous; 1, scabrous; 2, pubescent; 3, tomentose; 4, |
| * | 32. Longest leaf                                                                         |
| * | 33. Intermediate length leaf                                                             |
| * | 34. Shortest leaf                                                                        |
| * | 35 Leaf margin (0, flat; 1, revolute)                                                    |
|   | 36. Stipules shape (0, lanceolate; 1, ovate)                                             |
|   | Distance at maximal width of leaf (mm):                                                  |
| * | 37. Longest leaf                                                                         |
| * | 38. Intermediate length leaf                                                             |
| * | 39. Shortest leaf                                                                        |

---



Table 2. (continued)

---

|   |                                                       |
|---|-------------------------------------------------------|
|   | 40. Stigma shape (0, glabrous or nearly so; 1, hairy) |
| * | 41. Pedicels length (0, 0-8mm; 1 >8mm):               |
|   | Petiole length (mm):                                  |
| * | 42. Longest leaf                                      |
| * | 43. Intermediate length leaf                          |
| * | 44. Shortest leaf                                     |

---

advantages not found together in other similarity or distance coefficient (Gower 1971). The similarity matrix was converted to a distance matrix by subtracting the coefficients from 1.

The distance matrix was then subjected to the non-parametric cluster analysis SAS procedure MODECLUS (SAS Institute Inc. 1996). This method has the advantages over most clustering methods that no distributional assumptions are required and that the resulting clusters are not biased toward having the same size (*i.e.* number of observations in each cluster), the same shape, the same variance or the same dispersion as it is the case with many other clustering methods (*e.g.* average linkage, k-means, *etc.*). Furthermore, the MODECLUS procedure allows for an objective assessment of the number of cluster present in a given dataset by letting the user look for areas of stability (*i.e.* a range of K-values for which the suggested number of clusters is constant or nearly so) in the number of cluster  $\times$  K-values plot. The rationale for using this method over other methods is detailed in SAS Institute Inc. (1996). This method is not widespread in current plant taxonomic analyses but has been used in similar cases (Baum and Bailey 1990; Baum and Bailey 1994; Baum *et al.* 1995; Teshome *et al.* 1997).

The MODECLUS procedure was used in two steps: first, the data were subjected to the analysis over a range of K-values ranging from 2 to a high number (but lower than the total number of specimens considered) such as 80 in our case. The K-values specify the procedure to consider the Kth nearest neighbors of each OTU in hyperspace for density estimation (*i.e.* the number of OTUs in a given hypervolume) and clustering and gives an estimate of the number of modal clusters in the dataset. If the estimated number of cluster is constant or stable for a wide range of K-values, there is a strong evidence of at least that many modes in the population.

The original data, along with the cluster assignment of each specimen were then subjected to canonical discriminant analysis (CDA) to assess the validity of the number of clusters retained and

to help in making a final decision as to the number of taxa present. The analysis was performed using the SAS procedure CANDISC (SAS Institute Inc. 1989).

A classificatory discriminant analysis was carried out on the same dataset to observe if the specimens could be classified correctly to their corresponding cluster using the discriminant function produced by the CDA. This analysis helps to assess the reliability of the classification using the characters measured by computing the probability of group membership for each observation. This analysis was performed using the DISCRIM SAS procedure (SAS Institute Inc, 1989).

Finally, univariate statistics of the major discriminating characters were computed and presented in the form of Box-and-Whiskers plots.

#### *4.2.3. Environmental Data and Analyses*

Altitude for each collection site in Togo was measured on topographical 1:200,000 maps of the area (IGN-France 1980; 1986a; 1986b; 1989a; 1989b). The following climatic data were computed from raw data obtained from the Togolese Direction de la météorologie nationale, Division de la climatologie office in Lomé, Togo: mean annual rainfall (1967-1993, 1 station; 1968-1994, 2 stations; 1968-1995, 2 stations; 1982-1996, 11 stations; 1986-1996, 1 station; total 17 weather stations), mean annual number of dry months ( $< 50$  mm of rain, same stations as above), Penman's potential evapotranspiration (PET, 1982-1992, 8 stations, see Swami (1973) for definition), mean annual water balance (precipitations - PET), mean annual number of months with positive water balance (1982-1992, 8 stations). Mean annual temperature (1982-1996, 5 stations) was also obtained but has been rejected because of the marginal variation across the whole country. Due to the lack of reliable climatic data from the locations in Ghana and Ivory Coast, they were not used in subsequent analyses.

The environmental and morphological data were subjected to a canonical correlation analysis (Pimentel 1979) and canonical redundancy analysis (Cooley and Lohnes 1971) using the SAS procedure CANCORR (SAS Institute Inc. 1997). The goal was to assess to which degree the environmental data were influencing the major discriminatory characters as revealed by the canonical discriminant analysis.

All computation were carried using SAS version 6.12 (SAS Institute Inc. 1997) on a personal computer.

#### 4.2.4. *Growth experiment*

Seeds from the collected specimens were germinated to assess the genetic basis of morphological variation. Seeds were put on absorbant paper in petri dishes and filled with enough water to dampen the paper. All dishes were placed in a growth chamber with the following conditions: 14 / 10 hr of light / dark,  $26 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , ca 70% relative humidity. The seedlings that germinated were then put in 10 cm diam pots filled with vermiculite / perlite until they were considered big and healthy enough to be transplanted in bigger pots. Observations were made of the morphological features they exhibited.

### 4.3. RESULTS

#### 4.3.1. *Morphological Data and Analyses*

The number of clusters present in the dataset as suggested by the MODECLUS procedure stabilizes in the range of  $K = 8$  to  $10$  and  $K = 13$  to  $15$  at 3 clusters and also in the range of  $K = 16$  to  $28$  at 2 clusters, with a small range at  $K = 11$  and  $12$  suggesting a 4-cluster solution (Figure 29). Since 2, 3 or 4 clusters were suggested by the clustering analysis, it was decided to investigate the solutions encompassing all of them. The area investigated was thus between the values of  $K = 11$  to  $28$ , encompassing both the tail end of the 3 cluster solution ( $K = 13$  to  $15$ ) and the 2 cluster solution ( $K = 16$  to  $28$ ) as well as the small zone at  $K = 11$  to  $12$  suggesting a 4 cluster solution.

All of these solutions, although suggesting a different number of clusters in which the data could be segregated, effectively split the whole dataset in similar ways, with no specimens being unassigned to a cluster. The four-cluster solutions at  $K$ -values of  $11$  and  $12$  basically put the same number of specimens in the same clusters, the only difference being found in the first two clusters (83 and 22 specimens for the first and second clusters respectively at  $K = 11$  and 86 and 19 specimens respectively at  $K = 12$ ). Note that this three specimen difference is due to the same specimens, they just switched clusters. The remaining two clusters include the same specimens at both  $K$ -values.

The three-cluster solutions at  $K = 13$  to  $15$  are constant. They all suggest 105, 31 and 22 specimens for clusters 1, 2 and 3 respectively. Here too, the specimens are the same in each cluster at all three  $K$ -values.

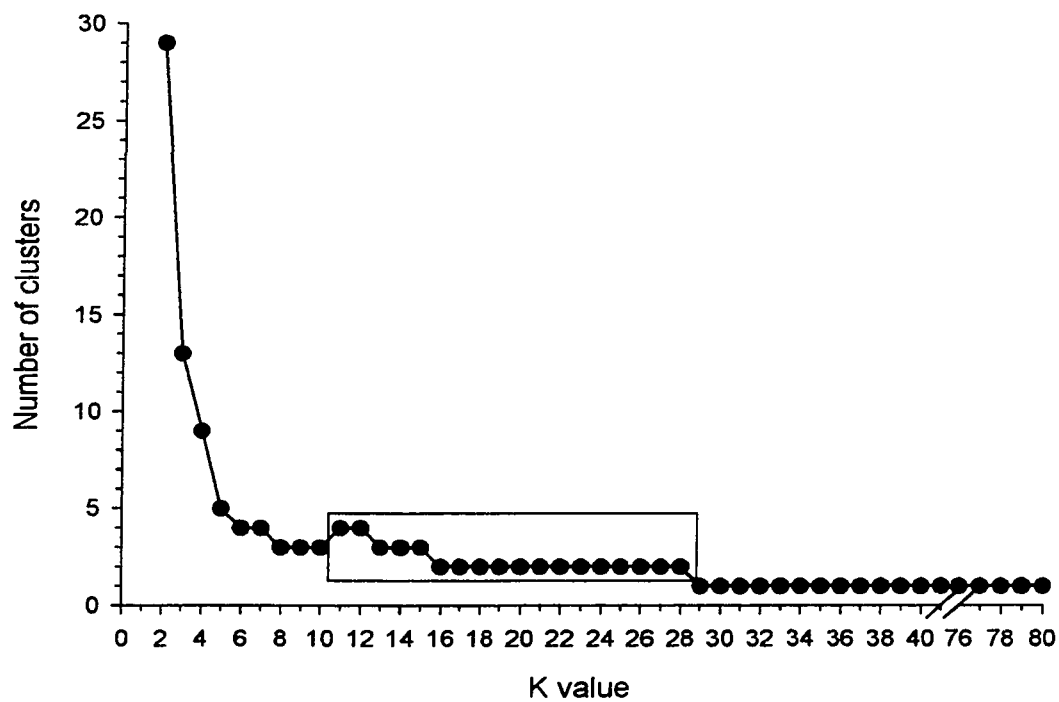


Fig. 29. Results of the MODECLUS cluster analysis using 44 characters and 158 specimens. The area of stability studied in this paper is surrounded by a rectangle.

The two-cluster solutions from  $K = 16$  to 28 are also constant, each of them suggesting 105 specimens to cluster 1 and 53 specimens to cluster 2. After checking the assignment to each cluster, it was found that the same specimens were assigned to the same clusters at all  $K$ -values for those two-cluster solutions.

Finally, the correspondance in the assignment to each cluster between solutions with different number of clusters was compared and it appears that clusters 3 and 4 from the four-cluster solutions at  $K = 11$  and 12 are composed of the same specimens from clusters 2 and 3 from the three-cluster solutions in the range of  $K = 13$  to 15 and also of the same specimens in cluster 2 from the two-cluster solutions at  $K = 16$  to 28. All of the above assignment, because of the size of the output, have not been included here but are available from the corresponding author.

The four-cluster solutions at  $K = 11$  and 12, although interesting for the tendency it shows to group the same specimens in clusters 3 and 4 as clusters 2 and 3 from the 3-cluster solutions at  $K = 13$  to 15, has been rejected on the basis of the variation it shows in the assignment of specimens in clusters 1 and 2 and also because it was located at the margin of the stability area (fig. 29). The three-cluster solutions at  $K = 13$  to 15 were kept because they were the ones that suggested the highest number of consistent clusters. This does not rule out the possibility that the data actually segregate in only two clusters, but since two clusters from the three-cluster solutions fuse exactly in a single cluster in the two-cluster solutions, it has been thought that those two clusters (*i.e.* from the three-cluster solutions) were worth consideration. Thus, the following multivariate analyses were performed with the knowledge that the data were split into three groups. Appendix 3 show to which cluster each specimen has been assigned.

Some characters were found to be invariant in at least one cluster and were deleted from the data matrix in order to be used in the multivariate analyses. In these analyses, if a specimen has a missing value for at least one character, it is excluded from the computation. Other characters, with very low intra-cluster variance, were thus also discarded to minimize the number of specimens excluded from the analyses. A total of four characters were excluded (table 2). Forty-four specimens with missing values were removed by the multivariate SAS procedures. The data matrix was thus of 114 specimens and 40 characters.

The canonical discriminant analysis was able to segregate satisfactorily the three clusters (Figure 30) with the first and second axes explaining 88% and 12% of the variation respectively. The squared Mahalanobis distances between the three clusters centroids are all significant with  $p$ -values of 0.0001, suggesting marginal overlap (table 3). All characters except one, the density of teeth for the shortest leaf (character number 28,  $F = 0.64$ ,  $p = 0.53$ ), contribute significantly to the discriminance. The  $F$ -values and associated probability for each character showing the weight of each in the discriminance between each cluster are presented in Table 4. The most important characters in this regard (*i.e.* with  $F$ -values  $> 90$ ) are the petiole length (all leaf lengths; character numbers 42-44), the length of the leaf (all leaf lengths; character numbers 2-4), the maximum width of the leaf (longest and intermediate length leaf, character numbers 5 and 6) and the half-sum of secondary nerves (longest leaf; character number 20). The characters that have the weakest weight in the discriminance (*i.e.* with  $F$ -values  $< 5$ ) are, apart from the insignificant density of teeth noted above for the shortest leaf, the leaf adaxial surface vestiture (intermediate leaf length; character number 30) and the density of teeth (longest and intermediate length leaf; character number 26 and 27), although they all have significant associated  $p$ -values. Most associated  $p$ -values are 0.0001 except for few characters (see table 4).



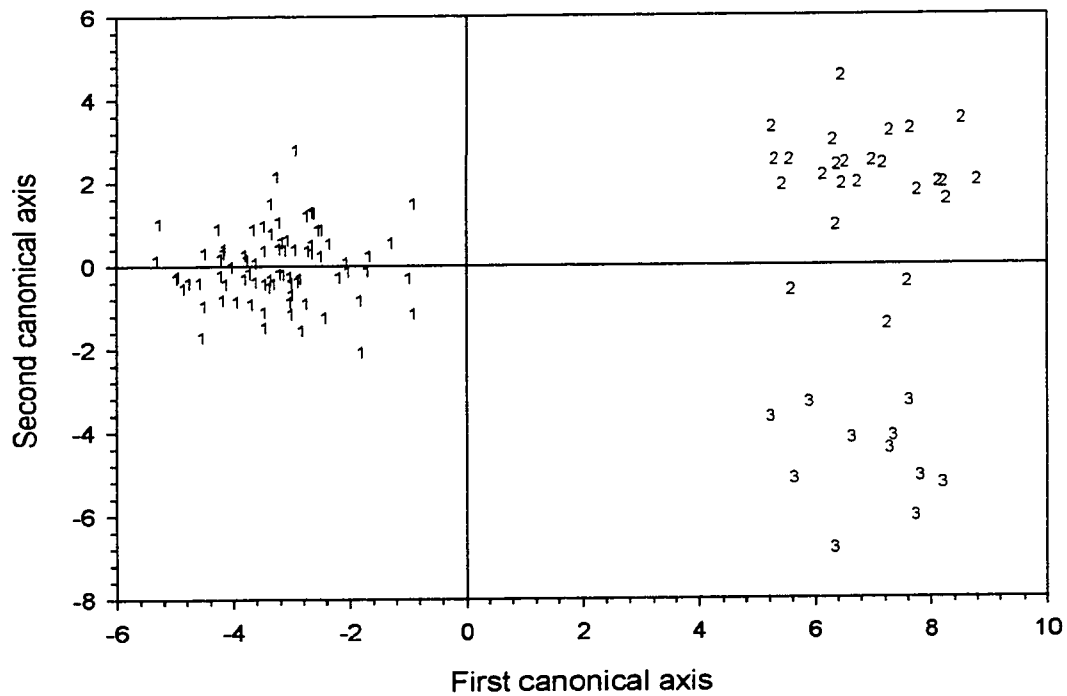


Fig. 30. Discriminant plot of the 114 specimens retained for the analysis using 40 characters. The numbers correspond to each clusters as used in the text. The first and second canonical axes accounts for 88% and 12% of the variation respectively.

Table 3. Squared Mahalanobis distances between the three clusters resulting from the canonical analysis of discriminance performed using 114 specimens and 40 characters. Pairwise tests of  $H_0$ : the centroids of each cluster are different, are all significant at  $p = 0.0001$ .

| From cluster | To cluster |        |
|--------------|------------|--------|
|              | 2          | 3      |
| 1            | 106.63     | 124.30 |
| 2            | —          | 45.06  |

Table 4. Univariate F-values and related probability for each character used in the canonical discriminant analysis showing the relative importance of each in the discriminance. See table 2 for character identification.

| Character number | F-value  | <i>p</i> |
|------------------|----------|----------|
| 2                | 108.5139 | 0.0001   |
| 3                | 116.4435 | 0.0001   |
| 4                | 117.0075 | 0.0001   |
| 5                | 105.4675 | 0.0001   |
| 6                | 92.2185  | 0.0001   |
| 7                | 63.8611  | 0.0001   |
| 8                | 33.5473  | 0.0001   |
| 9                | 38.2229  | 0.0001   |
| 10               | 74.5366  | 0.0001   |
| 11               | 40.6664  | 0.0001   |
| 12               | 43.4467  | 0.0001   |
| 13               | 71.2004  | 0.0001   |
| 14               | 34.4042  | 0.0001   |
| 15               | 20.2249  | 0.0001   |
| 16               | 64.4428  | 0.0001   |
| 17               | 8.2692   | 0.0004   |
| 18               | 12.4703  | 0.0001   |
| 19               | 23.0019  | 0.0001   |
| 20               | 98.4598  | 0.0001   |
| 21               | 59.6791  | 0.0001   |
| 22               | 50.0832  | 0.0001   |
| 23               | 68.6474  | 0.0001   |
| 24               | 36.1789  | 0.0001   |

Table 4. (continued)

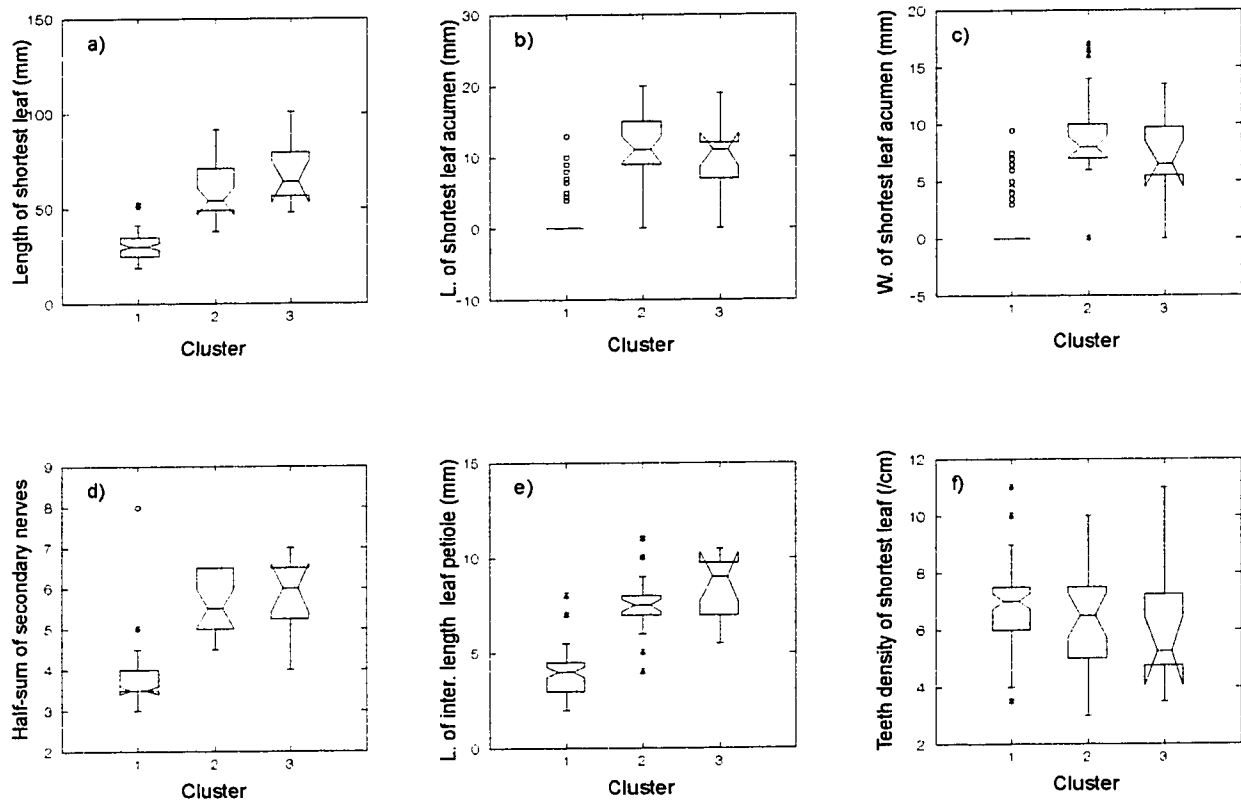
| Character number | F-value  | <i>p</i> |
|------------------|----------|----------|
| 26               | 4.2632   | 0.0165   |
| 27               | 4.0625   | 0.0198   |
| 28               | 0.6403   | 0.5291   |
| 29               | 12.7612  | 0.0001   |
| 30               | 3.1312   | 0.0475   |
| 31               | 7.7045   | 0.0007   |
| 32               | 54.3467  | 0.0001   |
| 33               | 76.8899  | 0.0001   |
| 34               | 87.1651  | 0.0001   |
| 35               | 13.9024  | 0.0001   |
| 37               | 55.0713  | 0.0001   |
| 38               | 60.5761  | 0.0001   |
| 39               | 50.2137  | 0.0001   |
| 41               | 54.3193  | 0.0001   |
| 42               | 93.5435  | 0.0001   |
| 43               | 135.3384 | 0.0001   |
| 44               | 140.9765 | 0.0001   |

The first canonical axis separates very effectively cluster 1 from clusters 2 and 3 while the second canonical axis allows for the separation of clusters 2 and 3. Looking at the Box-and-Whiskers plots of the major discriminating characters between each cluster (figs. 31 and 32), cluster 1 is particularly distinct from the other two clusters by its smaller shortest leaf length (character 4), its smaller longest leaf width (character 5), its shorter shortest leaf acumen (character 10), its smaller shortest leaf acumen width (character 13), its fewer number of pairs of secondary nerves on the longest leaf (character 20) and its smaller petiole length of the intermediate length leaf (character 43). Cluster 2 is segregated from cluster 3 mainly by the flatter shape of the leaf margins (character 35), the less denser lower leaf surface vestiture (characters 32-34), its cordate longest leaf base (character 23) and its somewhat smaller distance at maximal width of the intermediate length leaf (character 38).

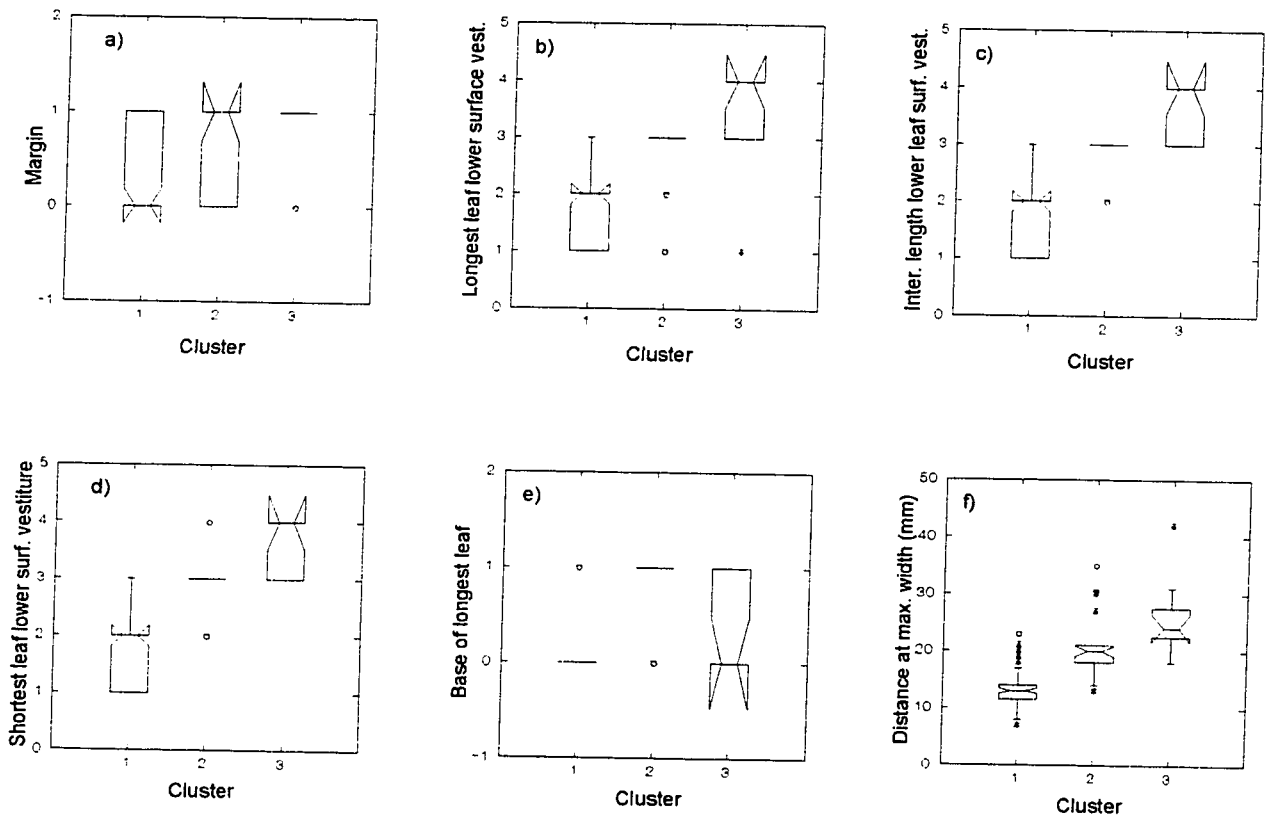
Using the discriminant functions produced by the classificatory discriminant analysis, all of the specimens except one were classified into the cluster identified by MODECLUS (Table 5). The only specimen misclassified, voucher number 97-020, originally from cluster 2 was put into cluster 3.

Table 5. Classification results based on canonical classificatory analysis of the whole set of data as splitted in three clusters by the clustering analysis using 114 specimens and 40 morphological characters.

| From<br>cluster | Percentage<br>correct | Number of specimens classified into cluster |    |    |       |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------------------|----|----|-------|
|                 |                       | 1                                           | 2  | 3  | Total |
| 1               | 100                   | 78                                          | 0  | 0  | 78    |
| 2               | 96                    | 0                                           | 24 | 1  | 25    |
| 3               | 100                   | 0                                           | 0  | 11 | 11    |
| Total           | 99                    | 78                                          | 24 | 12 | 114   |



Figs. 31. Box-and-Whiskers plots of some characters used in the present study of West African *Trema* spp. discriminating cluster 1 from clusters 2 and 3. a) length of the shortest leaf (character number 4), b) length of the shortest leaf acumen (10), c) width of shortest leaf acumen (13), d) half-sum of secondary nerves on longest leaf (20), e) length of intermediate length leaf petiole (43), f) teeth density of shortest leaf (28). This last character is the one with the weakest effect on the discriminance and is included here for comparison purpose. Boxes indicate interquartile range (I.R.) and median, whiskers indicate smallest and largest observations within 1.5 I.R. from top and bottom, \* = observations outside 1.5 I.R., ° = observations outside 3 I.R. Notches indicate 95% confidence intervals around median and are shown to emphasize the actual median value only.



Figs. 32. Box-and-Whiskers plots of some characters used in the present study of West African *Trema* spp., discriminating cluster 2 from cluster 3. a) margin (character 35), b)-d) lower leaf surface vestiture (all leaf lengths, 32-34), e) base of the longest leaf (23), f) distance at maximal width of intermediate length leaf (38). See table 2 for character states. Boxes indicate interquartile range (I.R.) and median, whiskers indicate smallest and largest observations within 1.5 I.R. from top and bottom, \* = observations outside 1.5 I.R., ° = observations outside 3 I.R. Notches indicate 95% confidence intervals around median and are shown to emphasize the actual median value only.



#### 4.3.2. *Environmental Data and Analyses*

Canonical correlation analysis showed a strong correlation between the first pair of canonical variables from each set of data (morphological and environmental) with an  $R^2$  of 0.77 ( $F = 1.61$ ;  $p = 0.0001$ ). The remaining pairs of subsequent canonical variables were not significantly correlated and have therefore been rejected from further consideration.

Canonical redundancy analysis resulted in poor predicting power of the variance of the morphological data from the first canonical variable of the environmental dataset (24%). Although weak, the analysis showed some tendency for the first canonical variable of the environmental dataset to predict morphological ones ( $r \leq 0.70$ ).

The best way to interpret the data in this case is to resort to the individual correlations between each variable from both datasets. The highest correlations were found between the morphological variables and the annual number of dry months. Altitude, mean annual rainfall and PET also show some trend to influence the morphological characters, but with less strength (Appendix 2).

#### 4.3.3. *Growth experiment*

Unfortunately, due to the difficulty of breaking the dormancy of the seeds (Vasquez-Yanes 1977), only a few of them made it to seedling stage. The number of specimens was very low for clusters 1 and 2 (2 and 10 specimens respectively), and no seeds for cluster 3 specimens germinated. No satisfying analyses could have been performed on such a small sample. However, the plants that became big enough to be transplanted exhibited evidences of morphological variation, although they

had been grown together under identical conditions. Seeds from specimens assigned to cluster 1 produced plants with a high apparent growth rate compared to the plants grown from cluster 2 specimens' seeds. These plants had relatively smaller and oblong leaves in comparison to cluster 2 specimens and began to shed them more quickly and started producing branches. The stem was reddish in color and rough to the touch due to a dense pubescence of minute hairs as compared to cluster 2 specimens, in which the stem was green (except for a faint redness on the branches) and was much softer to the touch. Cluster 1 specimens started to produce flowers early, about 4 months after being potted and 6 months after germination, and fruits shortly afterward — a particularity not seen in cluster 2 specimens, those producing nearly no flowers at all. The morphological variation exhibited by these live specimens is similar to what was found on the field, taking into consideration the age of the grown specimens (some of those specimens can be seen at the Carleton University greenhouses, since they have been donated after the observations had been performed). These features suggest a genetic basis for the difference between cluster 1 and 2 specimens.

#### 4.4. DISCUSSION

The *T. guineensis* species complex in West Africa has not been studied by numerical taxonomic methods before. The aim of this study was primarily to determine the number of taxa present in the area studied. The results of the morphological analysis presented here may help to portray and understand the diversity within that species complex.

The number of clusters present in the dataset has been assessed using the nonparametric SAS procedure MODECLUS (SAS Institute inc. 1996). This method avoids many drawbacks found in most clustering methods, which are biased toward finding clusters with equal size, shape, variance or dispersion, or which tend to produce hyperspherical and compact clusters. Most of these methods are also incapable of detecting clusters with irregular shapes, a situation that is likely to arise when working with natural biological entities. Nonparametric clustering methods, like the one used here, are the most powerful to avoid these drawbacks in similar taxonomic situations.

The 44 characters considered for the cluster analysis allowed the segregation of the 158 specimen dataset into 2, 3 or 4 clusters, depending on the solution. The fact that 2 clusters fuse into one with decreasing number of clusters in the solutions and the high consistency in the assignment of the specimens to those clusters strongly suggest a good segregation. The preferred three-cluster solution matches well with the gross variation observed in the field.

Canonical discriminant analysis with 40 characters and 114 specimens following their assignment based on the three-cluster solution generated a pattern of discrimination with nearly no overlap (Figure 30, table 3). This analysis suggests that cluster 1 is very well segregated from the other two

along the first canonical axis, while clusters 2 and 3, although significantly distant, are more near each other, along the second canonical axis.

The results of the canonical correlation analysis suggest that environmental factors may influence the distribution of the specimens in each cluster. Looking only at the pairwise correlations between morphological and environmental variables, it can be seen that the mean annual number of dry months (with precipitation < 50 mm) is correlated the most to morphological characters, mostly in a negative way, suggesting that the drier the environment, the smaller the plant parts (the lower the value for those characters). This makes sense in light of our field observations and is in agreement with the idea that plants from xeric environments tend to have smaller leaves in order to prevent water loss (Ehleringer *et al.* 1981; Mouton 1985; Givnish 1987). The other environmental characters also tend to be correlated in a similar way: altitude and mean annual rainfall (being themselves highly correlated,  $r = 0.71$ ) are nearly always positively correlated with morphological characters, suggesting that plants from higher altitude or from areas of high precipitation will have bigger plant parts. This may be explained by the fact that plants that receive more rain or live at high altitude have to compete more for resources, because of the increased productivity in these richer environments. This may lead to selection of characters such as increased leaf size and, in this case, to a denser indumentum on the lower leaf surface, which may be due to higher pressure from pathogens or herbivores in such a rich environment (as a possible mean of physical defense) and to a higher number of secondary nerve pairs, which maybe important to support the added leaf weight. It is interesting here to notice that characters 17-19 (average distance between leaf base and first pair of lateral nerves) are the only ones negatively correlated, although weakly, with altitude. This means that the higher the plant lives in

altitude, the smaller the base-first nerves distance is, supporting the suggestion that nerves are required to support the added leaf mass in that richer environment.

As PET increases, there is a tendency to lower values of each morphological characters. This parameter being correlated with the mean annual number of dry months ( $r = 0.69$ ), it is to be expected that an increase could reduce the value of each morphological character, since less water is available.

It is interesting to see that three characters, those describing the indentation of the leaves (characters 26-28), although not participating very much in the discriminance between the clusters (Table 4), are positively correlated with both the mean annual number of dry months and PET, while all other characters are not, suggesting that an increase in the dryness of the environment would be accompanied by an increase in the number of teeth per cm. Toothed margins are thought to be of importance for dew condensation (Mouton 1985), which may be useful in dry environments.

Cluster 1 specimens in the field tended consistently to have smaller values for each character, a fact that is reflected in figures 31 and 32. In view of the canonical correlation analysis results presented above, it can be said that cluster 1 specimens should be found more often in dry, low altitude habitats. Note that tooth density is slightly higher in cluster 1 specimens (see fig. 31f), which is in agreement with the suggestion stated above that plants living in dryer habitats are to possess more teeth per cm and support the correspondance of cluster 1 with dry habitats. Oppositely, cluster 2 and 3 specimens, having larger values for most characters, should be found mostly in wetter, richer and / or high altitude habitats. The habitat preference of cluster 2 vs cluster 3 specimens is not as clear cut. From our observations, both kind of specimens grow sympatrically in high altitude habitats, although cluster 3 specimens are found nearly exclusively on the mountain plateaus of southwestern Togo while cluster 2 specimens can often be found growing at low altitude, along small streams in the savana areas.

The height of the plant, although having been measured at collection time, has been deleted as a character in the numerical analyses because it was felt this could vary too much with the age of the individuals, even if they all could have been sampled at the same developmental stage (*e.g.* flowering time). Observations in the field suggests that the specimens from clusters 1 were mainly short, usually to 4 m, most of the time with a shrubby habit. Specimens from cluster 3, on the other hand, were consistently taller - the tallest specimens collected belonging to this cluster - with a height of up to 15 m with a tree habit. Specimens from cluster 2 were in between, with an intermediate height but a less shrubby habit. This character is hard to evaluate because of subjectivity in judgement and many exceptions may be encountered. Flower and fruit characters, less subject to phenotypic variation and thus potentially very useful, have been investigated prior to the analyses. The flowers and the fruits in the specimens studied were simple and very small. Unfortunately, no useful floral or fruit characters have been found to vary sufficiently between the specimens or to be practically useful.

Because three clusters can be well discriminated using morphological characters, well correlated with environmental factors, and appearing to be genetically controlled without being the reflection of the environment in view of the partial but highly suggestive results obtained from the growth experiment, it is suggested that three species may be worth recognizing in Togo: *T. africana* (Planch.) Bl., corresponding to cluster 1, *T. orientalis* (L.) Bl., identical to *T. guineensis* as originally described by Schumacher (1827) and corresponding to cluster 2 and *T. nitens* (Hook. & Planch.) Bl., corresponding to cluster 3.

Tchoumé (1980) suggested three species to be present in Ivory Coast (and implicitly West Africa) based on morphological, phenological, distributional and growth habit characters: *T. orientalis*, *T. hochstetteri* and *T. parvifolia*. The observations presented in that paper are interesting but the use of the growth habit as a character has been judged difficult to score objectively on the field and has

thus been rejected. Phenological characters (*e.g.* age of the plant at flowering time, time and duration of flowering) were not recorded for the reason that they were practically impossible to assess on the field, given the different time when collections took place. I agree with the use of *T. orientalis*, the description corresponding to the observations made in the field and matching the specimens used in the present study. His *T. hochstetteri* seems to correspond to our *T. nitens*, according to his description. Tchoumé apparently did not examine the type specimen mentioned below for this species. His *T. parvifolia* is not valid. He states *Celtis guineensis* and *T. nitens* as synonyms. These names antedate his new description which violates art. 52.2 of the Code (Greuter *et al.* 1994).

The study presented here applies to Togo and to the immediate neighboring countries of West Africa. Based on observations of herbarium specimens, the three species described in this present paper are likely to be present in West Africa and the rest of Africa also, but a more thorough analysis, using specimens from the whole continent, would be required to assess this.

#### 4.5. KEY TO THE SPECIES OF THE GENUS *TREMA* IN TOGO, WEST AFRICA

1. Leaf length less than 38 mm; leaf width less than 11 mm; half-sum of number of lateral nerves less than 3; stipules lanceolate; micropapillate unicellular trichomes always present; a shrub or small tree with a shrubby habit to 8 m tall, typical of dry savanna areas . . . . . *Trema africana*

1. Leaf length more than 38 mm; leaf width more than 11 mm; half-sum of number of lateral nerves more than 3; stipules ovate-lanceolate; micropapillate unicellular trichomes sometimes absent; a small tree or a tree to 15 m and more high mostly found in wet areas in savanna or at high altitude . . . . . 2

2. Branches ramifying much; leaves green staying green when dry; acumen angle usually between 60° and 75°; abaxial leaf surface pubescent to tomentose, rarely canescent; pedicel length more than 8 mm; a small tree to 8 m tall . . . . . *Trema orientalis*

2. Branches not ramifying much; leaves dark green turning darker green or brown when dry; acumen angle usually less than 60°; abaxial leaf surface canescent, rarely pubescent or tomentose; pedicel length less than 8 mm; a tall tree to 15 m tall and more . . . . . *Trema nitens*



## 4.6. TAXONOMIC TREATMENT

### 4.6.1. *Trema africana*

*Trema africana* (Planch.) Bl., Mus. Bot. Lugd.-Bat. 2: 58. 1856. *Sponia africana* Planch., Ann. Sci. Nat., sér. 3, 10: 320. 1848. TYPE: SENEGAMBIA. 1837, *Heudelot 50* (lectotype here designated: photo K!; isolectotype: P!). Planchon (1848) stated two type specimens (syntypes) for this species: *Heudelot 50* and a specimen from Vogel's collections (no number given). I agree with Polhill (1964) that Vogel's specimen might be *Vogel 138* (K!). I suggest the use of Heudelot's specimen only as the type since Vogel's specimen is ambiguous. Planchon specified in his protologue that the two specimens he used for the type collection were in Hooker's herbarium, now at K. Planchon was an assistant to Hooker at the time he investigated *S. africana*, therefore our designation of *Heudelot 50* as lectotype, deposited at K, is a logical choice.

*Celtis guineensis* Schum. & Thonn. var. *parvifolia* Schum. & Thonn., Beskr. Guin. Pl.: 180. 1827. *T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho var. *parvifolia* (Schum. & Thonn.) Engl., Pflanzenw. Afr. 3(1): 14. 1915. TYPE: GUINEA. *Thonning s.n.* (holotype: C!). I requested from C the type specimens in Thonning's herbarium and I received only one for this species. I can therefore assume that this specimen is the holotype, on which Schumacher (1827) based his description. The exact locality of the collection of these specimens was not indicated by Schumacher. The type specimens collected by Thonning were annotated with the name Guinea, a term then used for anywhere in West Africa. It is probable that the specimens were collected in Ghana (then the Gold Coast) where

Thonning had been sent by the Danish government to investigate the local flora in the early 1800s (<http://www.nathimus.ku.dk/bot/thonn.htm>).

*S. glomerata* Hochst., Flora 28: 87. 1845. *T. glomerata* (Hochst.) Bl., l.c. 1856. TYPE: NATAL (SOUTH AFRICA). In woods, Port Natal, *Krauss 354* (lectotype here designated: K!, islectotype: MO!). Hochstetter's description in Flora 28: 87 (the paper actually written by Krauss himself, with descriptions sometimes made by other botanists such as Hochstetter) does not provide the type locality. Since Krauss' specimens were dispersed in many herbaria, I designate the one in K as the lectotype. This choice is based on the description of the species by Planchon (1848) in which he stated that he had used the specimen in Hooker's herbarium as the type.

*S. strigosa* Planch., l.c.: 320. 1848. *T. strigosa* (Planch.) Bl., l.c. 1856. *T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho forma *strigosa* (Planch.) Büttn., Mitth. Afr. Gesselsch. 5: 257. 1889. TYPE: NIGERIA. *Vogel s.n.* (holotype: K). The holotype ought to be found at K, based on Planchon's statement that the specimen used for his description was in Hooker's Herbarium.

*T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho var. *paucinervia* Hauman, Bull. Jard. Bot. Brux. 16: 412. 1942. TYPE: BELGIAN CONGO (DEM. REP. OF CONGO). *Léontovitch 93* (holotype: BR!).

*T. parvifolia* (Schum. & Thonn.) Tchoumé, C.-R. VIe Coll. Int. Écol., Biol. Syst. Mauv. Herb., T. I: 170 1980. *Nom. Illeg.* Tchoumé's (1980) description of a new species, *T. parvifolia*, is not valid

on the account that he cites *C. guineensis* Schum. & Thonn. and *T. nitens* Bl. as synonyms, this being contrary to the rules, see Art. 52.2 of the Code (Greuter et al. 1994).

A shrub or small tree up to 8 m tall, usually 2.5 m. Diam at breast height rarely more than 5 cm. Lateral branches brown to brownish red turning brown, produced early and ramifying extensively. Bark greenish to gray or brown with lenticels. Wood soft, white to pinkish white. Roots grey to brown. Leaves distichous, simple, ovate, serrate to serrulate, dark green turning brown when dry; lamina (19) 23-71 (104) mm long × (8) 10-29 (44) mm wide. Distance at maximum width (1) 7-22 (40) mm. Acumen 0-14 (23) mm long × 0-11 (18) mm wide; acumen angle usually less than 60°, rarely up to more than 75° (acumen angle measurement follows Mouton 1976). First pair of lateral nerves at (3) 7-24 (32) mm from leaf base; half-sum of lateral nerves (1) 3-3.5 (8). Leaf base acute or straight, biggest leaves exceptionally cordate. Adaxial leaf surface scabrous to pubescent, usually strigose (see Smith 1977 for definition of terms); abaxial leaf surface scabrous to tomentose, usually pubescent. Petiole 2-8 (13) mm long. Leaf margins flat. Nerves on abaxial leaf surface green and/or red. Stipules lanceolate, green and/or red. Micropapillate unicellular trichomes always present; smooth unicellular trichomes sometimes present. Unicellular trichome density (/ mm<sup>2</sup>) on adaxial leaf surface (0) 14-42 (64), on abaxial leaf surface (20) 7-131 (400); multicellular glandular trichome density on adaxial leaf surface 0-17 (48); on abaxial leaf surface (0) 27-73 (92). Mean number of cells composing multicellular trichomes' stalk on adaxial leaf surface 4-6; on abaxial leaf surface 5-7. Flowers to 3 mm in diam, 5-merous, apetalous, polygamous, pale green, densely packed to glomerate in leaf-axils; sepals pilulose on back and margin; ovary ovoid to 2 mm long with a pair of stigma

spreading horizontally. Drupe spherical to ovoid, green turning black, up to 3 mm long. Pedicel length less than 8 mm.

#### 4.6.1.1. *Habitat*

*T. africana* is very widespread in Togo, actually making up the most common species of the genus. According to our own observation in the field and of herbarium specimens, the species seems to grow mainly in dry savanna areas of West Africa. Only a few atypical specimens from the rest of Africa have been observed. Some specimens have been encountered to grow in temporarily flooded areas during the wet season. The high occurrence of the species in Togo and the observation that it grows mainly in dry areas is consistent with the «Ghana dry belt» climatological singularity, a phenomenon causing a decrease in precipitations on the coast between Accra in Ghana to the western border of Nigeria (Trewartha 1981).

#### 4.6.1.2. *Elevation*

In Togo, the species has rarely been seen to grow at altitudes higher than 500 m. For other countries, the data is unavailable.

#### 4.6.1.3. *Vernacular names*

Togolese local names [approximative phonetic alphabet translations] (ethnic language): {Female} Wazawaza [wazawaza], Wadzawadza [wadzawadza], Wayawaya [wajawaja] or Wadjawadja [wadʒawadʒa] (Ewe); Bagbiena [bagbjena] (Tchokossi); Tchélihi [tʃelii], Tchélpoudé [tʃelpude] or Tchamma [tʃama] (Peul); Gougoumpti [gugumpti] (Moba); Polah [pola] or Bolah [bola] (Lama-Tessi); Adjandissio [adʒandisjo] (Lamba); Atédessio [atedɛsjo] or Kprakpra [kprakpra] (Défalé); Kidjakpatoukpéo [kidʒakpatukpeo] or Iyoo [ijo:] (Bassari); Kagningbala [kaŋiŋbala] (Kotokoli); Afefe [afefe] (Ife and Ana); Adetsi [adetsi] (Adja); Batroadjiré [batroadʒire] (Akébou) (see Cornevin 1969 for an overview of ethnic diversity in Togo). The name wadjawadja (with its modified forms) is sometimes used with the specification that it is the «female» form (cf. *T. orientalis* below), which has nothing to do with the sex of the plant.

#### 4.6.1.4. *Representative specimens examined*

GHANA. Ho, 17 September 1955, *Noamesi* 23 (MO). GUINEA REPUBLIC. Centre Administratif: Mamou, Village: Kambia, January 1944, *Adam* 140 (MO). Centre Administratif: Beyla, Village: Kérouané, 15 November 1949, *Adam* 7005 (MO); Village: Konsankoro, 3 May 1949, *Adam* 4952 (MO). IVORY COAST. Brobo, ca 25 km ENE of Bouaké, 24 September 1963, *Oldeman* 384 (MO). LIBERIA. Eastern Province, Webo District, Nyaake, 26 June 1947, *Baldwin* 6099 (MO); Tchien District: Zeahtown, 1 August 1947, *Baldwin* 6972 (MO). NIGERIA. Cross River State: 20 km S of Obura, 27 April 1977, *Pilz* 2028 (MO). TOGO. Région des Savanes: Kandé, December 1975, *Brunel*

2306 (TOGO); 10 km SW Mogou, 15 November 1983, *Pasch 7720* (TOGO). Région de la Kara: Bassar, September 1986, *Brunel 8760* (TOGO); Fazao, June 1983, *Brunel 8020* (TOGO). Région Maritime: *Warnecke 184* (P!). SIERRA LEONE. *Vogel 138* (K!).

#### 4.6.2. *Trema orientalis*

*Trema orientalis* (L.) Bl. Mus. Bot. Lugd.-Bat. 2: 62. 1856. *C. orientalis* L. Sp. Pl. 2: 1044. 1753, pro parte, excl. syn. *S. orientalis* Planch., Ann. Sci. Nat., sér. 3, 10: 323. 1848. TYPE: CEYLON (SRI LANKA) Herb. Hermann folio 2: 1, 4: 71 (syntypes, BM-SL). I did not have the opportunity to observe Hermann's specimens at BM-SL. I follow Polhill (1964) who cited two specimens from the Hermann's herbarium as the types.

*C. guineensis* Schum. & Thonn. Beskr. Guin. Pl.: 180 (1827). *S. guineensis* (Schum. & Thonn.) Planch., in DC, Prodr 17: 197. 1873. *T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho, Pl. Ut. Afr. Portug.: 261. 1884. TYPE: GUINEA. *Thomning s.n.* (lectotype here designated: C!, isoelectotypes: C!). I requested the type specimen for *C. guineensis* from C and received many syntypes. I have annotated one as lectotype. As for *C. guineensis* var. *parvifolia* above, the exact locality of collection for those specimens is uncertain. Polhill (1964) also states they are from Ghana as it is probable.

*S. bracteolata* Hochst., Flora 28: 87. 1845. *T. bracteolata* (Hochst.) Bl., l.c. 1856. TYPE: NATAL (SOUTH AFRICA), Tafelberge (Table Mountain), *Krauss 41* (lectotype here designated: K!). Since Planchon (1848) used the specimen *Krauss 41* in Hooker's herbarium as type, I designate it as

lectotype. The justification for this designation is similar to the one provided for *S. glomerata* as a synonym of *T. africana*, see above.

*S. affinis* Planch., l.c.: 329. 1848. *T. affinis* (Planch.) Bl., l.c. 1856. TYPE: SENEGAMBIA. 1837. *Heudelot s.n.* (holotype: K!). Planchon (1848) stated that the type specimen was in Hooker's herbarium. The specimen observed is thus probably the holotype, unless there are more than one specimen similar to the one I saw at K. Polhill (1964) says the specimen he used, also from K, was an isotype, but did not state where the holotype might be.

*S. hochstetteri* Buch. ex Planch., in DC, Prodr. 17: 198. 1873. *T. hochstetteri* (Buch. ex Planch.) Engl., Hochgebirgsfl. Trop. Afr.: 190. 1892. *T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho var. *hochstetteri* (Buch. ex Planch) Engl., Pflanzenw. Ost-Afr. C: 160. 1895. TYPE ABYSSINIA (ETHIOPIA). *Schimper 195* (isolectotype: K!, P!). The type collection consists of many specimens "W. Schimper. n. 1162, ann. 1855 in h. Boiss. et Cand., id. n. 195 in h. Coss. et Cand., id. n. 2182 collect. Hohenh. ex. h. Cand. et Bois." (Planchon 1873). The specimen observed from K had been annotated by Polhill as an isotype. The lectotype is probably at P but the specimen observed there was not annotated as such.

A small tree up to 12 m tall, usually 5 m. Lateral branches green, appearing late and greatly ramifying. Diam at breast height up to 30 cm. Bark greenish to gray with lenticels. Wood soft, white to pinkish white. Roots grey to brown. Leaves distichous, simple, ovate, serrate to serrulate, light green to green, staying green when dry; lamina (38) 47-128 (144) mm long × (11) 18-64 (77) mm

wide. Distance at maximum width (8) 12-37 (49) mm. Acumen (0) 6-26 (35) mm long × (0) 4-22 (30) mm wide; acumen angle usually between 60° and 75°, occasionally more or less. First pair of lateral nerves at (7) 11-31 (41) mm from leaf base; half-sum of lateral nerves (2.5) 4-5.5 (7). Leaf base cordate, smallest leaves sometimes acute. Adaxial leaf surface scabrous to pubescent, usually strigose; abaxial leaf surface pubescent to canescent, sometimes scabrous, usually tomentose. Petiole (2.5) 5-12 (15) mm long. Leaf margins flat or revolute. Nerves on abaxial leaf surface green or red (see Alexandre 1978 for evidences of the existence of two phenotypes based on nerve color). Stipules ovate-lanceolate, green, sometimes reddish. Smooth unicellular trichomes always present; micropapillate unicellular trichomes sometimes present. Unicellular trichome density on adaxial leaf surface (4) 13-43 (80), on abaxial leaf surface (12) 69-159 (228); multicellular glandular trichome density on adaxial leaf surface (0) 2-16 (36); on abaxial leaf surface (4) 20-44 (64). Mean number of cells composing multicellular trichomes' stalk on adaxial leaf surface 3-5; on abaxial leaf surface 5-7. Flowers to 3 mm in diam, 5-merous, apetalous, polygamous, pale green, loosely packed in leaf-axils; sepals pilulose on back and margin; ovary ovoid to 2 mm long with a pair of stigma spreading horizontally. Drupe spherical to ovoid, green turning black, up to 3 mm long. Pedicel length more than 8 mm. This species is often found in Togo to be associated with arboreal ant species of the Genus *Crematogaster* (identified by the J. Denis, Dept. Agriculture and Agri-Food Canada, Central Experimental Farm, Ottawa). When present, the ants build nests at the axil of branches where cochineal are present (L. St-Laurent pers. obs.).



#### 4.6.2.1. *Habitat*

*T. orientalis*, in Togo, grows mainly in mesic areas near water streams (forest-gallery) and in the high range of the Atakora Mountains where precipitations are the highest in Togo (up to 1728 mm / y according to the Togolese Meteorological Service). It has sometimes been observed in wetter savanna areas, growing sympatrically with *T. africana*.

#### 4.6.2.2. *Elevation*

The species has been found growing from near sea level up to 800 m in the Atakora Mountains, where it grows sympatrically with *T. nitens*.

#### 4.6.2.3. *Vernacular names*

Togolese local names [approximative phonetic alphabet translations] (ethnic language): {Male} Wadjawadja [wadʒawadʒa], Wayawaya [wajawaja] or Egnati [ɛɲati] (Ewe); Nfassou [nfasu] (Kotokoli); Tcharé [tʃaRe] (Kabye); Hohodjo [o'odʒo] (Akposso). In southwestern Ghana, the plant is known under the name Sesea [sesjɔ̃] (Fantse). In eastern Ivory Coast, Bakaman [bakamã](Agni). The name wadjawadja (with its derived forms) is sometimes used with the specification that it is the «male» form (cf. *T. africana* above), which has nothing to do with the sex of the plant.

#### 4.6.2.4. Representative specimens examined

CAMEROON. Prov. Sud-Ouest: Dept. Fako: Bakingili, 9 June 1984, *Thompson 1371* (MO). CENTRAL AFRICAN REPUBLIC. Manovo-Gounda-St. Floris National Park, 5 January 1984, *Fay 6309* (MO). DEM. REP. CONGO. Eala, 1930, *Corbisier 1395* (MT); Tomami, March 1937, *Quarré 4812* (MT). Prov. Orientale: Terr. Dungu: Parc National de la Garamba, rivière de Nakobe, 7 June 1952, *Troupin 1453* (MO). Dila (Cataractes), 23 September 1977, *Nsimundele 356* (MO). Kisantu, 10 August 1935, *Jean Louis 23* (MO). Yangambi, 27 May 1938, *Jean Louis 9522* (MO). GABON. Ngounie, 20 juillet 1987, *Dibata 301* (MO). GHANA: Adiebeba-Kumasi, 2 November 1950, *Darko 626* (MO). Aburi Scarp, 6 March 1970, *Enti 1669* (MO). GUINEA REPUBLIC. Centre Administratif: Nzerekore, Mt Nimba, 20 April 1945, *Adam 135* (MO). IVORY COAST. Adiopodoumé, 8 November 1958, *Leeuwenberg 1927* (MO). Lamé, 6 November 1958, *Leeuwenberg 1900* (MO). KENYA. Kisiwani, May 1957, *Kemp s.n.* (MO). LIBERIA. Eastern Province: Webo District: Jabroke, 12 July 1947, *Baldwin 6448* (MO); Nimba Co., Yelowee Forest, 24 November 1986, *Furth 18* (MO); Nimba Mountains, 29 July 1962, *Leeuwenberg & Voorhoeve 4715* (MO). Monrovia, 10 July 1926, *Linder 6* (MO). Road from Gbama to Lofa, 23 July 1965, *Van Meer 42* (MO). MALAWI. Zomba: Chingale Rd, 5 January 1956, *Jackson 1772* (MO). NIGERIA. Oyo State: 7 km W of Polytechnic, Ibadan, 9 October 1977, *Pilz 2156* (MO); 5 km W of Oshogbo, 3 September 1977, *Pilz 2120* (MO). Ijebu Prov: Shasha Forest. Reserve, 15 February 1935, *Richards 3122* (MO). Lagos, *Dalziel 1404* (MO). Benin Prov.: Iyekorhiomwon Dist.: Sapoba Forest Reserve, 27 July 1966, *Emwiogbon s.n.* (MO). SENEGAL. Centre administratif: Dakar, Village: Hann, 12 January 1948, *Adam 243* (MO). TANZANIA. E. Prov.: Manyangu Forest Reserve: Morogoro, 19 September 1960,

*Paulo 799* (MO). TOGO. Région des Plateaux: Akebou, 1 February 1986, *Guelly 101* (TOGO); Kloto, December 1973, *Sossou 1348* (TOGO); Yikpa, 1974, *Brunel 1352* (TOGO). UGANDA. Kigezi Dist.: Kayonza Forest Reserve, 4 August 1969, *Paulo 641* (MO). Western Prov.: Toro Dist.: Ruwenzori, 19 December 1934, *Taylor 2524* (MO). ZAMBIA. Western Prov.: Fort Rosebery Dist.: near Samfya, 22 August 1952, *Angus 278* (MO). ZIMBABWE. Selukwe District, 8 December 1953, *Wild 4304* (MO). Rurape District, 2 November 1952, *Dehn 1269/53*, (MO). Chepinga District: Konde Sabi, 2 May 1959, *Savory 415* (MO).

#### 4.6.3. *Trema nitens*

*Trema nitens* (Hook. & Planch.) Bl. Mus. Bot. Lugd.-Bat. 2: 58. 1856. *S. nitens* Hook. et Planch., Ann. Sci. Nat., sér. 3, 10: 325. 1848. TYPE: FERNANDO PO (EQUATORIAL GUINEA). *Vogel s.n.* (holotype: K!). Planchons stated that the type specimen of this species was in Hooker's herbarium, now at K.

A tree 15 m tall or more, usually 3-9 m. Lateral branches red or reddish turning grey to brown, appearing late and ramifying little. Diam at breast height up to 30-35 cm. Bark greenish to gray or brown with lenticels. Wood soft, white to pinkish/yellowish white. Roots grey to brown. Leaves distichous, simple, ovate, serrate to serrulate, dark green turning darker green or brown when dry; lamina (46.5) 53-136 (166) mm long × (16.5) 18-56 (70) mm wide. Distance at maximum width (11) 15-43 (49) mm. Acumen (0) 3-29 (44) mm long × (0) 2-19 (27.5) mm wide; acumen angle usually less than 60°, occasionally between 60° and 75°. First pair of lateral nerves at (2) 8-26 (41) mm from

leaf base; half-sum of lateral nerves (3) 5-6 (10). Leaf base mostly acute to straight, longest leaves cordate. Adaxial leaf surface scabrous to pubescent, usually scabrous, sometimes glabrous; abaxial leaf surface canescent, rarely less hairy. Petiole (5) 6-12 (15) mm long. Leaf margins revolute. Nerves on abaxial leaf surface green and/or red. Stipules ovate-lanceolate, green and/or red. Smooth or micropapillate unicellular trichomes sometimes present alone, most of the time together. Unicellular trichome density (/ mm<sup>2</sup>) on adaxial leaf surface 2-54 (184); on abaxial leaf surface (68) 436-1132 (1500); multicellular glandular trichome density on adaxial leaf surface (0) 1-7 (16); on abaxial leaf surface 0-36 (75). Number of cells composing multicellular trichomes' stalk 2-3; on abaxial leaf surface 4-6. Flowers scarce, to 3 mm in diam, 5-merous, apetalous, polygamous, pale green, loosely packed in leaf-axils; sepals pilulose on back and margin; ovary ovoid to 2 mm long with a pair of stigma spreading horizontally. Drupe spherical to ovoid, green turning black, up to 3 mm long. Pedicel length less than 8 mm.

#### 4.6.3.1. *Habitat*

*T. nitens* grows in Togo preferentially on the southwestern top of the Atakora Mountain range. This area sees the highest precipitations per year in the country. Few specimens have been observed at low elevation.

#### 4.6.3.2. *Elevation*

Exceptionally found under 200 m, the species is mostly found in Togo at higher altitudes between 300 and 800 m.

#### 4.6.3.3. *Vernacular names*

Togolese local names [approximative phonetic alphabet translations] (ethnic language): Kuzuzu [kuzuzu], Wadzawadza [wadzawadza] or Wadjawadja [wadʒawadʒa] (Ewe); Odjigbo [ɔdʒigbo] or Batroedjiré [batRoedʒiRe] (Akébou); Hohodjo [o'odʒo] (Akposso).

#### 4.6.3.4. *Representative specimens examined*

DEM. REP. CONGO. Karambi, Kivu, 9 January 1959, *Léonard* 2450 (MT). Dugu, 1937, *Pilbert* 621 (MO). GHANA. Kwapon, 100 km WSW of Kumasi, 19 December 1963, *Oldeman* 747 (MO). Kumasi, March 1928, *Vigne* 1206 (F). MALAWI. Kyimbila District, north of Lake Nyasa, 1915, *Stolz* 808 (MO). TOGO. Région des Plateaux: Kloto, 28 March 1984, *Guelly* 31 (TOGO); Mt Agou, December 1973, *Zeba* 1350 (TOGO); Danyi Dafo, 1993, *Akpagana* 2411 (TOGO); Mt Agou, 14 May 1986, *Akpagana* 0403 (TOGO). UGANDA. S. Kibale Forest, 15 December 1938, *Loveridge* 250 (MO).

## **CHAPITRE 5**

### **MICROMORPHOLOGIE ET DENSITÉS DES TRICHOMES FOLIAIRES CHEZ LES *TREMA* (ULMACEAE) DU TOGO, AFRIQUE OCCIDENTALE**

Ce chapitre a été lui aussi écrit sous la forme d'un article scientifique et sera soumis pour publication au *Journal Canadien de Botanique* avec les Profs Baum, Arnason et Akpagana comme co-auteurs. Les résultats obtenus pour cette étude sont également discutés en partie dans le chapitre 7. Tel qu'expliqué au chapitre premier, l'étude présentée dans ce chapitre est basée sur l'existence de trois espèces distinctes tel que discuté dans le chapitre précédent.

## 5.1. INTRODUCTION

In recent decades, only one species belonging to the genus *Trema* has been recognized in West Africa (Hutchinson and Dalziel 1958, Brunel *et al.* 1984). Although many species were described in the past from the African continent, owing to the wide morphological variation it exhibits and the apparent absence of good correlation among morphological characters and with environmental factors, *T. guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho (syn. *T. orientalis* (L.) Bl.) was the only species recognized (Polhill 1964).

Using morphological characters, mainly related to leaf shape and vestiture, a numerical taxonomic study has shown that the *T. guineensis* species-complex could in fact be segregated into three different species. These different species could be identified as *T. africana* (Planch.) Bl., *T. orientalis* (L.) Bl. And *T. nitens* (Hook. et Planch.) Bl. (see chapter 4 of the present thesis).

During the course of the numerical taxonomic study, it was observed that trichome micromorphology and density could potentially be used as discriminating characters between each species. Due to time constraints, relatively few specimens could have been observed sufficiently and were therefore omitted from the original data matrix (chapter 4).

Trichome micromorphology is known to be of good taxonomic value to separate related taxa in the order Urticales, including the genus *Trema* (Sweitzer 1971; Gangadhara and Inamdar 1977; Tobe and Takaso 1996). Unfortunately, there is no satisfactory and well accepted morphological classification of the various trichome types (Behnke 1984). Behnke uses simple morphological descriptors as suggested by Theobald *et al.* (1980) to describe the trichome micromorphology. Tobe and Takaso (1996) took a similar direction and recognized only two main types of trichomes in the

family Celtidaceae (Ulmaceae: Celtidoideae), to which the genus *Trema* belongs: unicellular non-glandular and multicellular glandular ones. The first type can be further described as either possessing a smooth or a micropapillate (warted) surface. Multicellular glandular trichomes vary in the shape of their head (mainly clavate or capitate in Celtidoideae) and also in the number of cells composing their stalk.

Our opinion is that there is no good way of classifying trichome types. Many intermediates or unclassifiable trichomes can probably be found. As few terms as possible, covering most of the variation encountered as Tobe and Takaso (1996) did, will therefore be used.

Trichome density may potentially be used to discriminate between taxa (Mouton 1976; Kokkini *et al.* 1994) but it has not been so widely because the variation is believed to be mainly the effect of environmental factors such as water availability and herbivore pressure (Levin 1973; Johnson 1975). Although this is probably important, it does not rule out the fact that trichome density (a component of pubescence type) could help in discriminating the species.

The aim of this paper is to assess the usefulness of leaf trichome shape and density as discriminating characters among *T. africana*, *T. orientalis* and *T. nitens* material collected in Togo, Ghana and Ivory Coast, West Africa. The density on both leaf surfaces of multicellular glandular and unicellular non-glandular trichomes, the number of cells composing the multicellular trichomes' stalk and the shape of the unicellular non-glandular trichomes are investigated.



## 5.2. MATERIAL AND METHODS

Thirty specimens of *T. africana*, 19 specimens of *T. orientalis* and 15 specimens of *T. nitens* (total 64 specimens) were collected in the field in West Africa between August 1996 and March 1997 (Table 6). They were then dried in a plant-press and brought back to Ottawa for further analysis. All voucher specimens are deposited at DAO and TOGO (see Holmgren *et al.* 1990 for abbreviations).

At least one dried leaf from each of the 64 specimens was removed randomly. A piece of each encompassing at least the midrib was cut with dissection scissors and processed for SEM observation.

Leaf samples were rehydrated in 3% Aerosol-OT for at least 3 days. After that time period, the leaf samples were transferred to FAA (95% ethanol: glacial acetic acid: 37-40% formaldehyde: water 50:5:10:35 v:v:v:v; Berlyn and Miksche 1976) for fixation and preservation for at least 24 h. The samples were dehydrated in an ethanol series (30%, 50%, 70%, 80%, 90%, 95% and 100%), critical point dried using carbon dioxide, mounted and gold-coated with a sputter coater. Observations were made on a Zeiss DSM940 digital scanning electron microscope (Zeiss, Germany).

For trichome density measurements and multicellular trichomes' stalk cells counts, a subset of specimens consisting of 11 specimens of *T. africana*, 8 specimens of *T. orientalis* and 9 specimens of *T. nitens* was used. Two to three leaves from each specimen were randomly chosen and a sample of each was cut using dissection scissors and processed as described above. Each sample included the leaf midrib.

Table 6. Specimens used in the leaf trichome micromorphology and density study. Specimens used in the statistical analyses are indicated by a \*, all other specimens were used only in unicellular trichome type identification. All specimens collected by L.S.L.

| Species                 | Collection number | Location | Coordinates     | Date    |
|-------------------------|-------------------|----------|-----------------|---------|
| <i>Trema nitens</i>     | 96-2              | Togo     | 7°15' N 0°42' E | 23/5/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-5              | Togo     | 6°14' N 1°05' E | 1/8/96  |
| <i>Trema africana</i>   | 96-7              | Togo     | 6°25' N 1°14' E | 2/8/96  |
| <i>Trema africana</i>   | 96-8              | Togo     | 6°26' N 1°26' E | 6/8/96  |
| <i>Trema orientalis</i> | 96-9              | Togo     | 6°15' N 1°06' E | 7/8/96  |
| <i>Trema africana</i>   | 96-11             | Togo     | 6°13' N 1°05' E | 7/8/96  |
| <i>Trema orientalis</i> | 96-14             | Togo     | 6°25' N 1°15' E | 15/8/96 |
| <i>Trema orientalis</i> | 96-15             | Togo     | 6°25' N 1°15' E | 15/8/96 |
| <i>Trema orientalis</i> | 96-16             | Togo     | 6°25' N 1°15' E | 15/8/96 |
| <i>Trema nitens</i>     | 96-17             | Togo     | 6°25' N 1°15' E | 15/8/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-19             | Togo     | 6°37' N 1°30' E | 20/8/96 |
| *                       | 96-20             | Togo     | 6°37' N 1°30' E | 20/8/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-21             | Togo     | 6°37' N 1°30' E | 20/8/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-23             | Togo     | 6°37' N 1°30' E | 20/8/96 |
| <i>Trema orientalis</i> | 96-25             | Togo     | 6°31' N 0°58' E | 21/8/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-26             | Togo     | 6°34' N 1°05' E | 21/8/96 |

Table 6. (continued)

| Species                 | Collection number | Location | Coordinates      | Date     |
|-------------------------|-------------------|----------|------------------|----------|
| <i>Trema africana</i>   | 96-28             | Togo     | 6°34' N 1°05' E  | 21/8/96  |
| <i>Trema africana</i>   | 96-31             | Togo     | 10°9' N 0°50' E  | 9/10/96  |
| <i>Trema africana</i>   | 96-32             | Togo     | 10°27' N 0°30' E | 10/10/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-33             | Togo     | 10°26' N 0°29' E | 10/10/96 |
| * <i>Trema africana</i> | 96-35             | Togo     | 10°26' N 0°29' E | 10/10/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-37             | Togo     | 10°26' N 0°29' E | 10/10/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-39             | Togo     | 10°26' N 0°29' E | 10/10/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-41             | Togo     | 10°18' N 0°23' E | 10/10/96 |
| * <i>Trema africana</i> | 96-43             | Togo     | 10°36' N 0°10' E | 11/10/96 |
| * <i>Trema africana</i> | 96-45             | Togo     | 10°36' N 0°10' E | 11/10/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-47             | Togo     | 10°41' N 0°08' E | 12/10/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-49             | Togo     | 10°41' N 0°08' E | 12/10/96 |
| * <i>Trema africana</i> | 96-52             | Togo     | 10°20' N 0°45' E | 15/10/96 |
| <i>Trema africana</i>   | 96-54             | Togo     | 10°10' N 0°49' E | 15/10/96 |
| * <i>Trema nitens</i>   | 96-58             | Togo     | 6°25' N 1°15' E  | 6/11/96  |
| * <i>Trema africana</i> | 96-61             | Togo     | 9°41' N 1°19' E  | 12/11/96 |
| * <i>Trema africana</i> | 96-65             | Togo     | 9°56' N 0°52' E  | 13/11/96 |
| * <i>Trema africana</i> | 96-75             | Togo     | 9°43' N 1°00' E  | 14/11/96 |

Table 6. (continued)

| Species                   | Collection number | Location    | Coordinates     | Date     |
|---------------------------|-------------------|-------------|-----------------|----------|
| <i>Trema orientalis</i>   | 96-94             | Togo        | 8°46' N 0°40' E | 17/11/96 |
| * <i>Trema orientalis</i> | 96-95             | Togo        | 9°13' N 0°51' E | 18/11/96 |
| <i>Trema africana</i>     | 96-101            | Togo        | 9°17' N 1°06' E | 19/11/96 |
| * <i>Trema africana</i>   | 96-105            | Togo        | 7°29' N 1°18' E | 7/12/96  |
| * <i>Trema orientalis</i> | 97-2              | Togo        | 6°39' N 0°09' E | 10/1/97  |
| * <i>Trema orientalis</i> | 97-8              | Togo        | 6°53' N 0°46' E | 11/1/97  |
| * <i>Trema orientalis</i> | 97-11             | Togo        | 6°51' N 0°46' E | 21/1/97  |
| * <i>Trema nitens</i>     | 97-13             | Togo        | 6°52' N 0°45' E | 21/1/97  |
| <i>Trema nitens</i>       | 97-14             | Togo        | 6°52' N 0°45' E | 21/1/97  |
| <i>Trema nitens</i>       | 97-19             | Togo        | 6°49' N 0°37' E | 22/1/97  |
| * <i>Trema orientalis</i> | 97-21             | Togo        | 7°01' N 0°37' E | 22/1/97  |
| <i>Trema nitens</i>       | 97-23             | Togo        | 7°16' N 0°40' E | 23/1/97  |
| * <i>Trema nitens</i>     | 97-24             | Togo        | 7°17' N 0°40' E | 23/1/97  |
| * <i>Trema nitens</i>     | 97-25             | Togo        | 7°15' N 0°46' E | 23/1/97  |
| * <i>Trema orientalis</i> | 97-26             | Ivory Coast | 5°25' N 3°04' W | 16/2/97  |
| <i>Trema orientalis</i>   | 97-28             | Ivory Coast | 5°15' N 2°45' W | 16/2/97  |
| * <i>Trema orientalis</i> | 97-29             | Ghana       | 5°21' N 1°24' W | 17/2/97  |
| <i>Trema orientalis</i>   | 97-30             | Ghana       | 5°20' N 1°23' W | 17/2/97  |

Table 6. (continued)

|   | Species                 | Collection number | Location | Coordinates     | Date    |
|---|-------------------------|-------------------|----------|-----------------|---------|
|   | <i>Trema orientalis</i> | 97-32             | Togo     | 7°34' N 1°01' E | 3/3/97  |
|   | <i>Trema nitens</i>     | 97-33             | Togo     | 7°33' N 1°00' E | 3/3/97  |
|   | <i>Trema orientalis</i> | 97-34             | Togo     | 7°36' N 0°38' E | 3/3/97  |
| * | <i>Trema orientalis</i> | 97-36             | Togo     | 7°45' N 0°47' E | 4/3/97  |
| * | <i>Trema nitens</i>     | 97-37             | Togo     | 7°47' N 0°48' E | 4/3/97  |
| * | <i>Trema nitens</i>     | 97-39             | Togo     | 7°40' N 0°44' E | 5/3/97  |
| * | <i>Trema nitens</i>     | 97-40             | Togo     | 7°39' N 0°43' E | 5/3/97  |
| * | <i>Trema orientalis</i> | 97-41             | Togo     | 7°42' N 0°40' E | 5/3/97  |
|   | <i>Trema orientalis</i> | 97-42             | Togo     | 7°44' N 0°41' E | 5/3/97  |
| * | <i>Trema africana</i>   | 97-44             | Togo     | 7°32' N 0°33' E | 6/3/97  |
| * | <i>Trema nitens</i>     | 97-45             | Togo     | 7°34' N 0°36' E | 6/3/97  |
| * | <i>Trema nitens</i>     | 97-47             | Togo     | 7°20' N 0°43' E | 7/3/97  |
|   | <i>Trema africana</i>   | 97-51             | Togo     | 6°12' N 1°06' E | 13/3/97 |

Unicellular trichomes' shape was evaluated as either micropapillate or smooth, *i.e.* with or without warts present on the trichome surface. Observations were made on the upper leaf surface and on the lower leaf surface of each specimen. An observation could be scored as possessing smooth trichomes only («smooth»), micropapillate trichomes only («micropapillate»), or both kind on the same sample («both»). These trichome morphology data were tested for independence using a  $3 \times 3$  two-way contingency table analysis (Sokal and Rohlf 1995). This analysis tests the hypothesis that the frequency of trichome types (smooth, micropapillate and «both») is independent of the species (*T. africana*, *T. orientalis* and *T. nitens*).

The density of unicellular and multicellular trichomes on both leaf surfaces was measured in three ca 1 mm<sup>2</sup> areas as seen on the microscope at 100X for each of the two-to-three leaves of each specimen. These areas were approximately 1) near the midrib, 2) as far as it was possible to observe in the direction of the margin and 3) about in the middle between those two. When the density was too high, a magnification of 200X or 500X was used and the resulting density was expressed on a 1 mm<sup>2</sup> basis.

The number of cells composing the stalk of multicellular trichomes was counted on a random number of multicellular trichomes on each sample surface. Due to incomplete rehydration, particularly in the case of multicellular trichomes, it has been impossible to assess with certainty the head shape of each. This is probably due to the fact that the material had been dry for too long and lost its potential for rehydration.

The density and number of cells composing multicellular trichome's stalk data were tested for normality and homoscedasticity but, unfortunately, those assumptions could not be met for any set of data. Non-parametric Kruskal-Wallis tests were instead performed with the taxon as the grouping

factor (Sokal and Rohlf 1995). Further pairwise comparison among each taxa were also performed using Wilcoxon two-sample tests (Sokal and Rohlf 1995).

All computations were performed using Systat version 5.0.5 (SPSS Inc. 1994).

### 5.3. RESULTS

#### 5.3.1. *Unicellular trichome type*

The specimens observed exhibited the two unicellular trichome types described for the families Ulmaceae and Celtidaceae (Tobe and Takaso 1996). Micropapillate trichomes are easily distinguished by the warts covering their surface (Figure 33). The micropapilli do not always cover the entire trichome surface as in Figure 34, but at least the base is covered. It should be noted here that the shortest micropapillate trichomes had at least their base covered with warts while the longest had most of the time their whole surface covered. It remains to be explained if those represent two different kind of trichomes or two different developmental stages of the same. When trichome with evident micropapilli were encountered, the trichome type was scored as micropapillate.

Smooth trichomes (Figure 35) are smooth on their entire surface, with no noticeable difference in texture between the base and the body of the trichome. The base is more or less bulbous as seen in Figure 35. For some unknown reasons, some smooth trichomes (mainly but not always from species *T. nitens*) did not rehydrate properly (Figure 36) while some others did well. This may also be the consequence of the specimens having lost their rehydrating power.

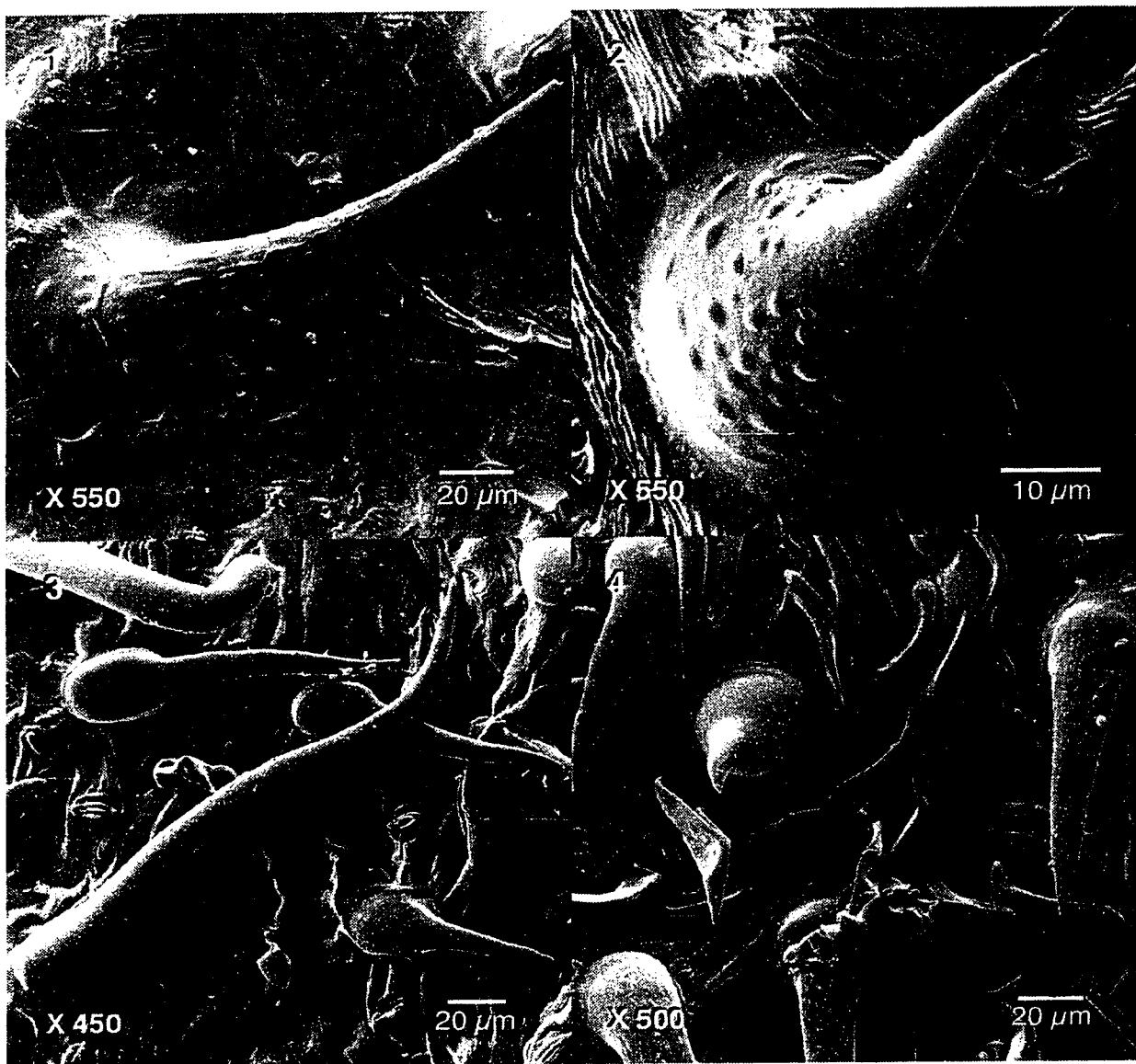
The results of the independence test is presented in Table 7. The high value of the  $G$  statistic (179.94,  $p < 0.0001$ ) result in the rejection of the null hypothesis that the frequency of trichome type is independent of the species. The micropapillate unicellular trichomes seem to be highly specific to *T. africana* (92 out of of the 98 total observations for that species (93.9%) bear that type of trichome, 92 out of the 117 observations with only that trichome type were from that species (78.6%), (Table



7). For *T. orientalis*, the majority of observations, 43 out of 67 (64.2%), showed only smooth trichomes. When looked upon in relation to the total number observations with only smooth trichomes (68), 63.2% of them were from *T. orientalis* specimens. *T. nitens* could best be described as possessing both types of trichomes in most specimens. 33 out of the 68 observations from that species (48.5%) were with those two trichome types together. This value is low but represents the majority of the observations for that species. Also, 33 out of the 48 observations of «both» trichome types (68.75%) were from that species.

### 5.3.2. *Trichome densities*

The three species exhibit a higher density of trichomes, unicellular as well as multicellular, on their abaxial leaf surface (Figures 37a)-37d)). The trichome density is also higher for unicellular trichomes compared to multicellular trichomes, for both leaf surfaces. Kruskal-Wallis tests yielded significant results for all trichome density characters except one, the density of unicellular trichomes on the adaxial leaf surface (Table 8). Wilcoxon pairwise comparison results (Table 9) show that *T. nitens* is always well segregated from the other two species for all characters taken in consideration except the density of unicellular trichomes on the adaxial leaf surface. *T. orientalis* segregated well from *T. africana* in most instances except for the same character as above as well as the density of glandular trichomes on the adaxial leaf surface.



Figs. 33-36. Scanning electron micrographs of the different trichome types found on the leaves of *Trema* spp. from West Africa. 33 (here designated 1). Typical micropapillate trichome on *T. africana*. 34 (here designated 2). Small micropapillate trichome on *T. africana* showing micropapilli only at the base. 35 (here designated 3). Smooth trichomes with bulbous base on *T. orientalis*. 36 (here designated 4). Smooth trichomes on *T. nitens* that did not rehydrate completely. Note the presence of micropapillate trichomes on the right and in the lower left corner, a feature typical of *T. nitens*. Figures are numbered 1-4 for publication purposes.

Table 7. Frequency of trichome types observations for *T. africana*, *T. orientalis* and *T. nitens*.  $H_0$ : the frequency of trichome type is independent of the species is rejected.  $G = 179.94$ ,  $p < 0.0001$ .

| Trichome type  | Species            |                      |                  | Total |
|----------------|--------------------|----------------------|------------------|-------|
|                | <i>T. africana</i> | <i>T. orientalis</i> | <i>T. nitens</i> |       |
| Smooth         | 0                  | 43                   | 25               | 68    |
| Micropapillate | 92                 | 15                   | 10               | 117   |
| Both           | 6                  | 9                    | 33               | 48    |
| Total          | 98                 | 67                   | 68               | 233   |

Table 8. Results of the Kruskal-Wallis non-parametric tests with the species as the grouping factor.  $H_0$ : the «locations» of each species do not differ. Number of df = 2 in all cases.

| Character                                         | Leaf surface | N   | H       | p     |
|---------------------------------------------------|--------------|-----|---------|-------|
| Unicellular trichomes density                     | Upper        | 242 | 1.691   | 0.429 |
|                                                   | Lower        | 237 | 161.023 | 0.000 |
| Multicellular trichomes density                   | Upper        | 227 | 36.842  | 0.000 |
|                                                   | Lower        | 224 | 73.510  | 0.000 |
| Number of cells in multicellular trichomes' stalk | Upper        | 73  | 20.279  | 0.000 |
|                                                   | Lower        | 74  | 9.271   | 0.010 |

Table 9. Probability associated with the Wilcoxon non-parametric pairwise comparison tests for each character analysed.  $H_0$ : the species, taken two at a time, do not differ in «location».  $df = 1$  in all cases.

| Character                                         | Leaf surface | Taxon / Taxon        | <i>T. africana</i> | <i>T. orientalis</i> |
|---------------------------------------------------|--------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| Unicellular trichomes density                     | Upper        | <i>T. orientalis</i> | 0.451              | —                    |
|                                                   |              | <i>T. nitens</i>     | 0.535              | 0.556                |
|                                                   | Lower        | <i>T. orientalis</i> | 0.000              | —                    |
|                                                   |              | <i>T. nitens</i>     | 0.000              | 0.000                |
| Multicellular trichomes density                   | Upper        | <i>T. orientalis</i> | 0.091              | —                    |
|                                                   |              | <i>T. nitens</i>     | 0.000              | 0.000                |
|                                                   | Lower        | <i>T. orientalis</i> | 0.000              | —                    |
|                                                   |              | <i>T. nitens</i>     | 0.000              | 0.000                |
| Number of cells in multicellular trichomes' stalk | Upper        | <i>T. orientalis</i> | 0.012              | —                    |
|                                                   |              | <i>T. nitens</i>     | 0.000              | 0.007                |
|                                                   | Lower        | <i>T. orientalis</i> | 0.595              | —                    |
|                                                   |              | <i>T. nitens</i>     | 0.019              | 0.008                |

### 5.3.3. Number of cells composing multicellular trichome's stalk

All multicellular trichomes observed were uniseriate and the number of cells composing their stalk was similar for each surface among each species with a slight tendency to be higher on the abaxial leaf surface (Figure 37e)-37f)). Both Kruskal-Wallis tests showed significant differences among the three species (Table 8) while the Wilcoxon two-sample tests showed non-significant difference between *T. africana* and *T. orientalis* only, in the case of the lower leaf surface (Table 9).

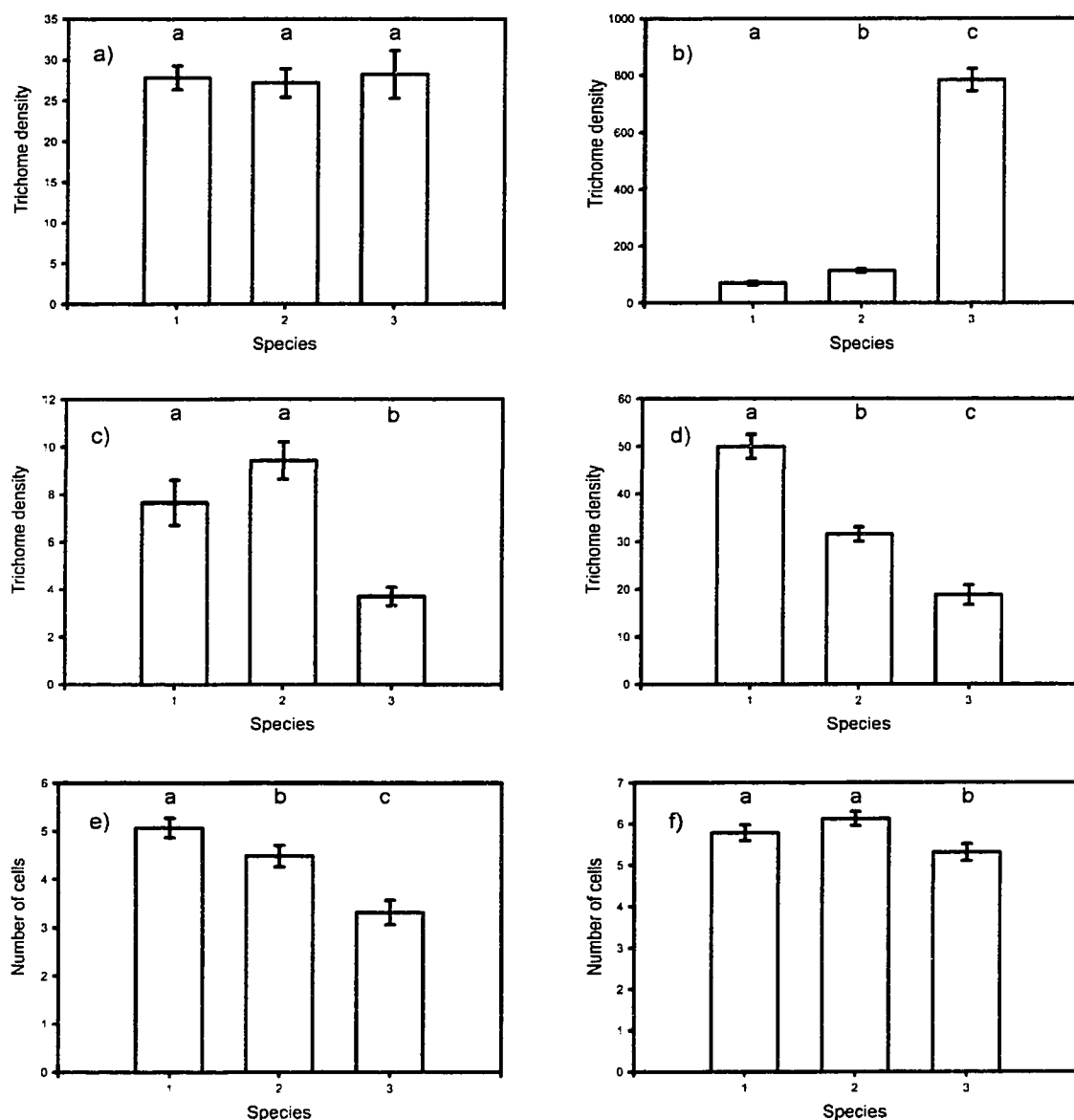


Fig. 37. Bar charts showing the densities of unicellular and multicellular trichomes and number the of cells composing multicellular trichomes' stalk on both leaf surfaces for each species. a) Density of unicellular trichomes, upper leaf surface. b) Density of unicellular trichomes, lower leaf surface. c) Density of multicellular trichomes, upper leaf surface. d) Density of multicellular trichomes, lower leaf surface. e) number of cells composing multicellular trichomes' stalk, upper leaf surface. f) number of cells composing multicellular trichomes' stalk, upper leaf surface. 1: *T. africana*, 2: *T. orientalis*, 3: *T. nitens*. Different letters above bars for each graph indicate significant Wilcoxon two-paired test (at  $\alpha = 0.05$ ). Error indicated is  $\pm$ SEM.

## 5.4. DISCUSSION

This study was undertaken to assess the validity of leaf trichomes's characters in discriminating between the three species belonging to the genus *Trema* from West Africa. The results show that the characters studied possess different values for each species.

### 5.4.1. *Unicellular trichome types*

This character, although not uniform within species, seems to suggest that each one bears specific types of trichomes. The results of the frequency analysis show that the frequency of trichome types is dependent of the species. The micropapillate unicellular trichomes seem to be highly specific to *T. africana*, while *T. orientalis* could be associated with the smooth unicellular trichome type. It is interesting to compare this finding with Tobe and Takaso's (1996) who also observed only smooth trichomes from *T. orientalis* specimens from Japan. This is a further positive indication of the synonymy between the African and the Asian *T. orientalis*. *T. nitens* seems associated with the possession of both types of trichomes in most specimens.

These values may not allow for a perfect segregation of the species all the time, but with such high frequencies in each case and taking into consideration observation errors and random variation in the samples, it suggest a good affinity between the species and the trichome types.

Metcalf and Chalk (1950) report the occasional presence of cystoliths on leaves in the genus *Trema*, without mentioning the species. Our observations did not allow differentiation between small



trichomes and cystoliths, although they may have been present. Since cystoliths are reported to be present occasionally, the overall results obtained here should not be biased excessively.

#### 5.4.2. *Trichome densities*

Unicellular trichome density cannot be used to seek good discriminance between the three species when considering only the adaxial leaf surface. No significant differences have been found in the sample studied here between the species using Wilcoxon two-sample tests (Table 9, Figure 37a)). For the abaxial leaf surface, though, this character is highly different between each species (Table 8 and 9, Figure 37b)) with *T. africana* having the lowest values, *T. nitens* the highest and *T. orientalis* having a low density but significantly higher than *T. africana*. Abaxial leaf surface unicellular trichome density is highly related to a good discriminating character found previously (see chapter 4): lower leaf surface vestiture. This was to be expected since vestiture, a qualitative character, is related to trichome density (but not exclusively, as trichome length is also a component of vestiture).

For multicellular trichomes also, on the adaxial leaf surface, as is the case with unicellular trichomes on the adaxial leaf surface, no conclusion can be drawn conclusively. There is no statistical difference between the density in *T. africana* and *T. orientalis* but each of those species have a significantly (higher) density of multicellular trichomes than *T. nitens* (Figure 37c)). On the abaxial leaf surface, we see that there is a high significance between each species, suggesting a good discriminating power (Table 8 and 9, Figure 37d)).

It appears that trichome density characters on the upper leaf surface are only of partial value to identify the three species. The densities taken on the lower leaf surface are, on the other hand, very specific to each species.

#### 5.4.3. *Number of cells composing multicellular trichomes' stalk*

This character is of good discriminating value between *T. africana* and *T. orientalis* on the one hand and *T. nitens* on the other, when considering the adaxial leaf surface. The mean values for *T. africana* and *T. orientalis*, although statistically different, are so similar that they do not represent good discriminating characters (Table 8 and 9, Figure 37d)). For the abaxial leaf surface, there is uncertainty related to the segregation between *T. africana* and *T. orientalis* (Table 9). But, for the same reason stated above for the adaxial leaf surface, the mean values for *T. africana* and *T. orientalis* (non-significant between each other) are so similar to that of *T. nitens* (although statistically different from the other two) that it can not be considered a good discriminator (Table 9, Figure 37e)).

There are definitive differences in the morphology and the densities of trichome between the three species of the genus *Trema* found in West Africa. The best characters discriminating the species, according to the results presented here, are the shape of unicellular trichomes, the densities of unicellular and multicellular trichomes on the abaxial leaf surface and, to a lesser extent, the density of multicellular trichomes on the adaxial leaf surface and the number of cells composing the stalk of multicellular trichomes on both leaf surface. The density of unicellular trichomes on the adaxial leaf surface has no great power to discriminate the three species.

## **CHAPITRE 6**

### **ACTIVITÉS INSECTICIDE, NÉMATOCIDE ET ANTIVIRALE DE TROIS ESPÈCES DE *TREMA* TOGOLAISES**

Ce chapitre est également écrit sous forme d'article à publier avec les Profs Arnason, Baum et Akapagana et Jim Hudson de l'Université de Colombie-Britannique dans l'*International Journal of Pharmacognosy*. Étant donné la brièveté des résultats expliqués ici, cet article est écrit plutôt sous forme d'une note et les sections résultats et discussion ont été fusionnées. Ces résultats seront également discutés au chapitre 7, conclusion.

## 6.1. INTRODUCTION

*Trema guineensis* (Schum. & Thonn.) Ficalho, as described in Hutchinson and Dalziel (1958), is a widespread pioneer species in West Africa, growing mainly in fallows and forest clearings. The species is used extensively by traditional healers to treat a number of diseases, including intestinal worms (Holland 1922; Dalziel 1937; Aké Assi and Guinko 1991; Ayiku 1992; Iwu 1993), hypertension (Adjanohoun et al. 1986; Aké Assi and Guinko 1991) and mouth-related infections (Adjanohoun et al. 1986; Aké Assi and Guinko 1991; Iwu 1993).

There has been a great deal of uncertainty regarding the taxonomic status of *T. guineensis* in West Africa. The problems were mainly due to a high morphological variation in the species that lead many authors to recognize only one species: *T. guineensis* (syn. *T. orientalis* (L.) Bl.; Rendle 1917; Hutchinson and Dalziel 1958; Polhill 1964; Brunel *et al.* 1984). Following a study conducted by our research team using numerical taxonomic techniques, a conclusion was reached that three species deserved recognition in West Africa: *T. orientalis*, *T. africana* (Planch.) Bl. and *T. nitens* (Hook. et Planch.) Bl. (see chapter 4 of the present thesis).

The division of the *T. guineensis* complex into three species based on morphological characters raises the obvious question as to whether the species are also differentiated on a biological activity or phytochemical basis as it is highly probable (Seigler 1981; Harborne and Turner 1984) and the implications this may have in our understanding of traditional medicine.

There is, as yet, little biological activity information on this african medicinal plant genus, and it is appropriate now to examine the three newly recognized species separately. Since *T. guineensis* is used traditionally against intestinal worms disorders, the nematicidal activity was therefore evaluated

against the free-living nematode *Caenorhabditis elegans*, which, although not being pathogenic, constitutes a reasonable and especially safe model for such preliminary experiments. The insecticidal activity was also assessed against the mosquito *Aedes atropalpus* because it is reported to be used as an insect repellent in Kenya (ICRAF 1992). Antiviral activity has been tested against type I herpes simplex virus (HSV) which causes cold sores of the mouth, since *Trema* spp. have been used against disorders of that nature.

As yet, no studies have attempted to evaluate the nematicidal, insecticidal and antiviral activities of the species scientifically (NAPRALERT 1991).

## 6.2. MATERIAL AND METHODS

Leaf material was collected from different localities in Togo between January and April 1997. The leaves were weighted and put immediately in bottles containing 95% ethanol for conservation. The leaves were left in ethanol in darkness before being brought to Ottawa and processed for bio-assaying. During the collection trips, time was taken to meet local people and some traditional healers and to ask them about the use they make of the three species of *Trema*.

In the lab, the ethanolic extracts were filtered through a Büchner funnel and Whatman #1 filter paper and brought to near dryness at 30°C in a rotary evaporator. The gummy residues were put in a freeze-dryer until dry. The extracts were then weighted and collected for further bio-assaying.

### 6.2.1. Insect bio-assays

Each extract was re-dissolved in ethanol (95%) at a stock concentration of 500 mg / mL (500 000 ppm). This stock solution was used to produce a series of twice as much diluted solutions of extract ranging from 500 mg / mL (500 000 ppm) to 1.95 mg / mL (1953.13 ppm). 0.1 mL of these solutions were next dissolved in 4.9 mL of double-distilled water giving final concentrations of 10 mg / mL (10000 ppm) to  $3,91 \times 10^{-2}$  mg / mL (39.06 ppm) plus a control containing 4.9 mL of double distilled water with 0.1 mL of ethanol (95%) to assess the effect of ethanol alone. Ten third instar larvae of the north american mosquito *Aedes atropalpus* (from our cultivation lab) were added to each solution and left to rest for 24 h. Each concentration was made in two replicates. The following day, the mortality and moribundity was assessed for each concentration.

### 6.2.2. Nematode bio-assay

The same extract stock dilutions as above were used to test the activity of the ethanolic extracts of the leaves of the three *Trema* species against the free-living nematode *Caenorhabditis elegans*. The method was however different. The nematodes strain used in this work were provided by the *Caenorhabditis* Genetics Center, which is funded by the NIH National Center for Research Resources (NCRR), and kept at 23°C until needed. The method used for growing the nematodes can be found in Lewis & Fleming (1995). The bio-assays were performed in a similar way as in Schaeffer & Haines (1989). On the day of the bio-assay, the petri dishes containing the nematodes were washed with pH 7 M9 buffer (see Lewis & Fleming (1989) for composition) and poured into a sterile erlenmeyer for density evaluation, under a laminar flow fume hood to minimize contamination. The number of third to fifth instar nematodes in 100 µL was adjusted to be between 15 and 30 using light centrifugation concentration if necessary. Eppendorf vials were then filled with 96 µL of M9 buffer, 4 µL of each concentration of extract and 100 µL of nematode-containing M9 buffer. The final concentrations were thus ranging from 10 mg / mL (10000 ppm) to  $3.91 \times 10^{-2}$  mg / mL (39.06 ppm) as above. An ethanol control and an only buffer control were also made to assess the effect of each on mortality. Each concentration and the controls were made in five replicates. The whole set of vials was then left for 24 h in total darkness at 23°C. The next day, nematode mortality (*i.e.* absence of motility) was assessed using a dissecting binocular magnifier.

### 6.2.3. Antiviral bio-assay

The methods used to test *Trema* spp. leaf extracts against type I HSV is a modified version of the procedures described in Marles *et al.* (1992).

Vero cells (monkey kidney cell line, American Type Culture Collection) were grown in Dulbecco's Modified Eagle Medium (MEM) containing 5% fetal bovine serum (cell culture reagents obtained from GIBCO Life Sciences, Ontario), in 96-well microtest trays (Falcon), 0.1 mL volume per well. When the cells formed confluent monolayers, they were used for the assays.

Each freeze-dried extract was diluted in ethanol. This solution was then diluted at 1:100 in MEM + 0.1 % serum and filtered through a sterile syringe 0.2 nm pore diameter. The filtrate, equivalent to 1000 µg / mL of freeze-dried extract and 1% ethanol, was the starting test material.

Serial 2-fold dilutions of the extracts were made (in duplicate) in MEM + 0.1% serum across a row of wells in an empty 96-well microtest tray. With the aid of a multipipettor, these diluted extracts were transferred to the aspirated Vero cell monolayers of the other 96-well tray (0.1 mL per well). These cultures were incubated at 37°C for 60 min and checked microscopically for possible immediate cytotoxic effects. Then 0.1 mL of HSV-I comprising 100 plaque-forming units (pfu) in MEM + 0.1% serum, was added to each well. Immediately, the tray was transferred to an environmental chamber at 37°C and exposed to a combination of visible light and long-wave ultraviolet (UVA) for 30 min with continuous gentle shaking of the tray. Fluorescent lights and incandescent bulbs were arranged to give approximately 5 watts / m<sup>2</sup> of incident radiation of both visible and UVA wavelengths. After the light exposure, the trays were returned to the cell culture incubator. Controls included cells with no virus and cells infected with virus but without plant extract



(untreated). Dark assays were performed in an identical way but with the trays covered with aluminium foil. Cultures were inspected periodically under the microscope for viral characteristic cytopathic effects (cpe). Complete cell destruction (100% viral cpe) required 4 days for infected but untreated control cells. Absence of cpe indicated complete inactivation of the 100 pfu of virus by the treatment; substantially less than 100% cpe (*i.e.* 50% or fewer cells showing cpe) indicated partial inactivation of the virus. Those bio-assays have been performed by Dr. Hudson in Vancouver.

#### 6.2.4. *Analysis*

The mortality data for each concentration replicate of the insecticidal and nematocidal bio-assays were submitted to a probit analysis to evaluate the  $LC_{50}$  of each species. Computations were done using a slightly modified BASIC computer program devised by J.L. McLaughlin (Dept. Medicinal Chemistry and Pharmacognosy, Purdue University, W. Lafayette, IN 47907) to allow for large datasets. Since the antiviral bio-assays were performed in few replicates (3), no statistical analysis have been performed on them and only the simple statistics will be discussed.

### 6.3. RESULTS AND DISCUSSION

Figures 38-40 and 41-43 show the results of the insecticidal and nematicidal bio-assays performed on the three species of *Trema* respectively. The computed  $LC_{50}$ -values are presented in Table 10 and Table 11. Antiviral activity against HSV is presented in table 12.

This is the first report of significant insecticidal, nematicidal and antiviral effects in the genus *Trema* from West Africa. *T. orientalis* and *T. nitens* appear to be consistently different based on both insecticidal and nematicidal activities, their respective  $LC_{50}$  values not overlapping. In the insecticidal tests, *T. africana* showed a difference in biological activity with *T. orientalis*, a result not observed in the nematicidal activity bio-assays. *T. africana* and *T. nitens* do not appear to be different based on the present results. The results of the antiviral bio-assays do not support distinction between the three species but more replication might provide differentiation. However, the results clearly show a potent antiviral effect in each species in presence of light (the effect in darkness being much less potent), suggesting the presence of an antiviral photosensitizer in each extracts. Moreover, the extracts were not cytotoxic in the test conditions, up to 500  $\mu\text{g} / \text{mL}$ .

Most local people and traditional healers do not recognize the three species of *Trema* as they have been defined, *i.e.* they mostly have the same name for the three species (see chapter 4). This may partly be due to the fact that the three species are mostly found living allopatrically and local people may not know of the existence of a different species. In some areas, particularly along streams in the savanna areas, *T. africana* and *T. orientalis* are sometimes found growing sympatrically. Most people in these areas identified them with the same name as elsewhere but some of them indicated that the big-leaved *T. orientalis* was the «male» form while the small-leaved *T. africana* was the «female»

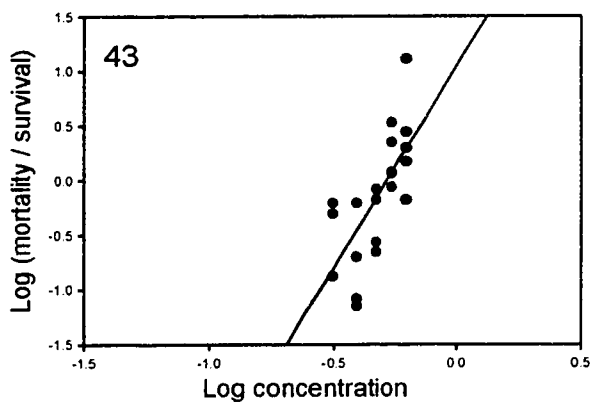
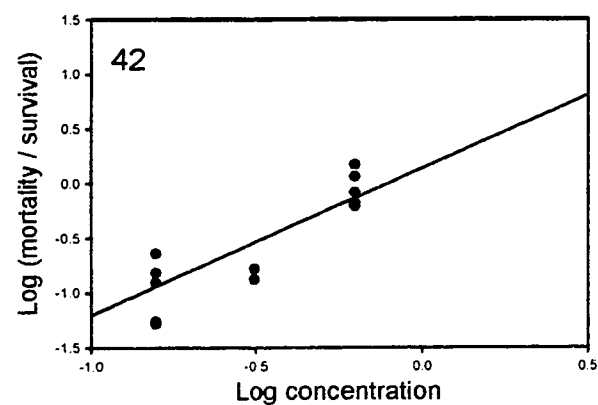
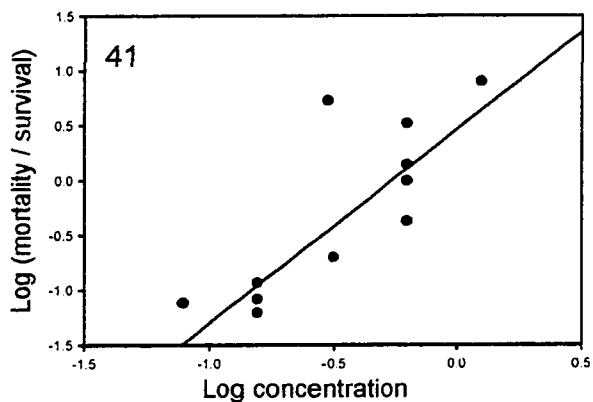
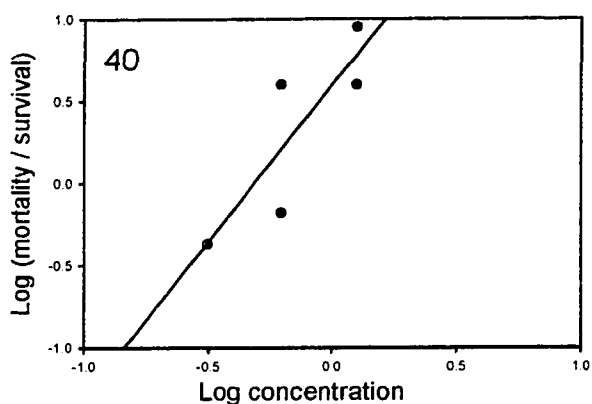
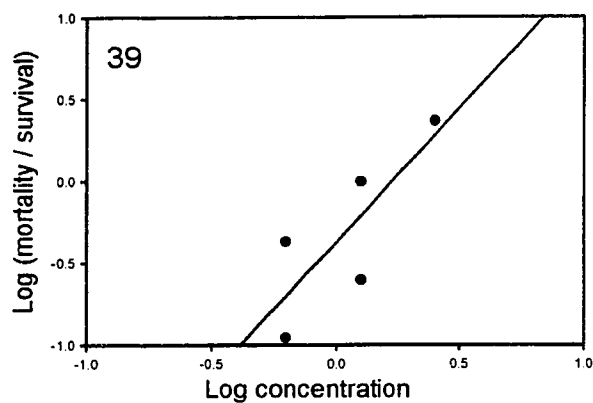
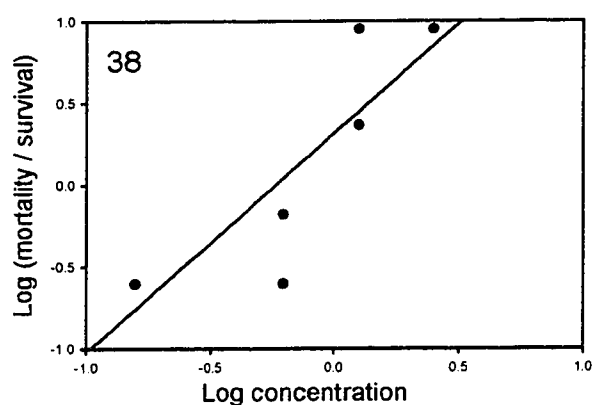


Fig. 38-43. Plots of the log (mortality/survival) in function of the log concentration of insecticidal and nematocidal bio-assays for each species. 38-40. Plots of the insecticidal bio-assays for *T. africana*, *T. orientalis* and *T. nitens* respectively. 41-43. Plots of the nematocidal bio-assays for *T. africana*, *T. orientalis* and *T. nitens* respectively.

Table 10. Computed  $LC_{50}$  values and associated confidence limits (mg / mL) in the insecticidal bio-assays against *Aedes atropalpus*.

| Taxon                   | $LC_{50}$ | Confidence  |
|-------------------------|-----------|-------------|
|                         |           | Limits      |
| <i>Trema africana</i>   | 0.63      | 0.39 - 0.99 |
| <i>Trema orientalis</i> | 1.65      | 1.11 - 6.79 |
| <i>Trema nitens</i>     | 0.50      | 0.31 - 0.68 |

Table 11. Computed LC<sub>50</sub> values and associated confidence limits (mg / mL) in the nematicidal bio-assays against *Caenorhabditis elegans*.

| Taxon                   | LC <sub>50</sub> | Confidence  |
|-------------------------|------------------|-------------|
|                         |                  | Limits      |
| <i>Trema africana</i>   | 0.55             | 0.44 - 0.76 |
| <i>Trema orientalis</i> | 0.76             | 0.58 - 1.17 |
| <i>Trema nitens</i>     | 0.50             | 0.46 - 0.55 |

Table 12. Results of the antiviral bio-assays performed against type I Herpes Simplex Virus in light and dark conditions. Minimum antiviral concentrations in  $\mu\text{g} / \text{mL}$ . N = 3 in each case.

| Species                 | Minimum antiviral concentration |                   |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------|
|                         | light                           | dark              |
|                         | mean (SD)                       | mean (SD)         |
| <i>Trema africana</i>   | <1.717 (<1.985)                 | < 8.167 (<6.788)  |
| <i>Trema orientalis</i> | <2.467 (<1.858)                 | <40.333 (<45.654) |
| <i>Trema nitens</i>     | <1.850 (<1.862)                 | <13.667 (<15.044) |

form. This use of gender terms in folk taxonomy is not restricted to Togo and has been observed in Central America for close species differing in leaf size (J.T. Arnason, pers. obs.).

The antiviral results are particularly promising and warrant further investigation, especially to identify the active principles. In addition, antibacterial bio-assays as well as antihypertensive tests are being performed by our team in Canada and Togo and may show some differential effects as well as permit the discovery of novel phytochemical components. These plant species can be added to the growing number of species in the african traditional pharmacopoeia that have confirmed biological activities in laboratory evaluations.

## CHAPITRE 7

### CONCLUSION GÉNÉRALE

Les caractères morphologiques utilisés lors de l'analyse numérique au chapitre 4 permettent l'agglomération de trois groupes dans lesquels l'état de chaque caractère est corrélé avec ceux des autres caractères. En d'autres termes, tel que décrit au chapitre 4, la plupart des caractères pour chaque groupe défini possèdent un ensemble d'état qui leur sont propres. De plus, cette spécificité est corrélée avec des facteurs environnementaux. Les résultats de l'analyse canonique de corrélation ne permettent pas de conclure avec certitude mais on peut constater que la distribution de chaque espèce (Figure 28) suit presque parfaitement la division du Togo en zone écologique avec *T. africana* répandu sur une bonne partie du pays, où les conditions climatiques sont singulièrement sèches (chapitre 3) et *T. orientalis* et *T. nitens* se retrouvant surtout dans la zone IV où les précipitations et l'humidité sont les plus élevées (*T. orientalis* est aussi rencontré en zone savaneuse mais surtout le long des cours d'eau). L'assertion de Polhill (1964) est fortement handicapée par les résultats obtenus ici. Il est faux de croire, du moins pour ce qui est de la région du Togo, que *T. guineensis* (*sensu lato*) exhibe une variation aléatoire dans sa morphologie et qui n'est pas corrélée avec des facteurs environnementaux.

Les trois groupes identifiées et décrits au chapitre 4 me semblent suffisamment distincts par plusieurs caractères et par leur répartition géographique pour en justifier l'existence en tant qu'espèce. Tel que discuté dans l'introduction, le choix du rang spécifique plutôt que sous-spécifique assignés à ces trois groupes est subjectif. Le concept d'espèce est un point très controversé en biologie et deux définitions différentes sont le plus souvent proposées pour tenter d'uniformiser le



choix du rang spécifique: le concept d'espèce biologique et celui d'espèce morphologique (voir Sokal et Crovello 1970; Jardine et Sibson 1971, Sneath et Sokal 1973). Le premier est basé essentiellement sur l'isolation génétique entre les entités identifiées comme taxa possibles sans tenir compte de la morphologie. Une espèce est donc définie comme comprenant des groupes de populations (potentiellement ou) effectivement interfertiles qui sont isolés reproductivement d'autres groupes (Sneath et Sokal 1973). Cette définition est potentiellement utile en biologie, mais sa valeur en botanique, surtout aux niveaux spécifique et sous-spécifique, est difficile à appliquer de par la difficulté évidente à évaluer les échanges génétiques entre populations qui peuvent être influencés par différents facteurs tels que des facteurs génétiques intrinsèque ou des barrières reproductives écologiques, géographiques, *etc.* Sokal et Crovello (1970), dans une analyse détaillée des étapes requises pour identifier une espèce biologique, montrent que sa reconnaissance est basée essentiellement sur des considérations phénétiques, même en théorie. La définition morphologique (ou phénétique), bien que n'étant pas exempte de quelques problèmes de nature théorique (voir Sneath et Sokal 1973), est beaucoup plus facile à appliquer en pratique. Une espèce morphologique est simplement un ensemble de populations similaires bien localisées géographiquement et morphologiquement distinctes d'autres population. Cette définition est beaucoup plus simple à utiliser et l'utilisation de méthodes numériques aide à éliminer la subjectivité qui y est reliée. Une définition de sous-espèce serait similaire mais avec un chevauchement important entre les caractères sous-spécifiques.

La définition que j'ai utilisée ici est composite. Une espèce est d'abord définie comme un ensemble de spécimens ou populations morphologiquement distincts et ensuite, dans les cas où ceci est possible à déterminer, isolés reproductivement.

L'analyse de cliques et l'analyse canonique de discriminance effectuées au chapitre 4 ont montrées une très bonne ségrégation morphologique entre les trois cliques retenues. Les résultats de l'analyse canonique de discriminance montrent de très nette séparations entre les trois cliques avec peu de chevauchement. La clique 1, identifiée à *T. africana* est particulièrement distincte des deux autres morphologiquement et dans sa distribution pour justifier son rang spécifique. Les deux autres cliques, étant également bien séparées morphologiquement, se retrouvent cependant en sympatrie. Cependant, ce dernier point suggère une forme d'isolation reproductive, menant à la reconnaissance de ces deux cliques comme étant des espèces et au rejet de leur possible statut de sous-espèce.

D'autres facteurs ont également été considérés dans l'assignation du rang spécifique à ces taxa. Premièrement, des considérations nomenclaturales ont été prise en ligne de compte. Pour assigner à un rang sous-spécifique les taxa définis, il aurait d'abord fallu décider à quelle espèce ils appartiennent, soit *T. guineensis* ou *T. orientalis*. Puisque la première est reconnue comme synonyme de la deuxième au chapitre 4, les trois groupes mis en évidence auraient été des sous-espèces (ou variétés) de *T. orientalis*. M'étant ici limité à l'Afrique de l'ouest, donc à une partie partie seulement du domaine où *T. orientalis* est rencontré, assigner à ce taxon les trois groupes définis ici aurait été dangereux. Une étude beaucoup plus approfondie de l'espèce en Asie par exemple aurait été nécessaire pour déterminer si les taxa ouest-africains sont retrouvés en Asie et si une quelconque synonymie s'applique entre ceux-ci, un travail beaucoup plus imposant que celui effectué ici. Une révision du genre en entier permettrait de répondre de façon satisfaisante à cette question.

Ensuite, le fait que ces taxa aient déjà été décrits et identifiés par le passé au niveau spécifique a aussi joué. En utilisant une nomenclature déjà existante, on évite de créer de nouveaux noms (au

niveau sous-spécifique) et on augmente les chances, selon moi, que ces anciens noms passés dans l'oubli mais valides soient acceptés.

L'utilisation de caractères morphologiques, foliaires essentiellement, pourrait avoir des conséquences sur la validité des résultats obtenus. Le danger ici est qu'avec des caractères d'un seul type, c'est-à-dire en donnant plus de poids à certains caractères plutôt qu'à d'autres (dans le cas présent à des caractères morphologiques foliaires), la classification obtenue risque fortement d'être artificielle et de ne représenter qu'une partie de la réalité (Sneath et Sokal 1963). C'est un problème réel qui ne doit pas être négligé. On doit cependant considérer un nombre de choses avant de rejeter les résultats d'une analyse sur ce point. Tout d'abord, l'observateur ne verra, volontairement ou non, uniquement que les caractères qui tombent sous ses sens et avec lesquels il est le plus familier au moment de choisir (cf. Chapitre 1). Deuxièmement, sur l'ensemble théoriquement infini de caractères présents chez une plante (avec chacun ses états qui lui sont propres), seulement une quantité finie, représentant une petite fraction seulement du total, ne pourra vraisemblablement être utilisés. C'est une évidence qui souligne encore une fois la subjectivité intrinsèque à ce genre d'investigation. De plus, le taxonomiste ne peut et ne doit mesurer que les caractères qui varient dans l'ensemble des spécimens sous étude ou qui sont identifiables facilement et sans aucun doute quant à leur état. Tenir compte d'un caractère dans une étude où tous les spécimens observés possèdent le même état pour ce caractère ou lorsque les états sont difficilement distinguables entre-eux (*e.g.* marge des feuilles dentée ou denticulée, serrée ou serrulée ...) est une nuisance qui ne fait qu'augmenter artificiellement la similarité entre les spécimens au dépend d'autres caractères qui en permettraient la ségrégation, l'objectif premier d'une telle analyse. C'est en partie ce qui s'est passé dans le cas présenté au chapitre 4. Les caractères (et leurs états) utilisés correspondaient, selon moi, à l'ensemble des caractères

identifiables qui variaient d'une façon suffisante (*i.e.* dont un état n'était pas partagé par un très petit nombre de spécimens seulement) entre les spécimens observés. D'autres caractères furent investigués mais furent rejetés (voir chapitre 4, p. 87 par exemple). Les caractères floraux, qui sont souvent considérés comme les plus valables (voir Crovello 1969), malgré l'observation répétée et poussée, ne variaient pas de façon suffisamment grande et permettant une identification des états correcte pour être inclus dans l'étude du chapitre 4. On pourrait argumenter sur ce point mais cette absence de variation peut être le fait de la grande similarité entre les espèces définies. Ces espèces étant très près les unes des autres (génétiquement parlant) et appartenant de toute évidence au même groupe taxonomique, il est possible que la morphologie florale, ne possédant pas beaucoup de caractères distinctifs dans cette famille soit dit en passant (voir chapitre 2), ait été conservée entre ces espèces et ne varierait que d'une façon marginale. De toute façon, le but du présent travail a été atteint: on peut maintenant identifier trois espèces au Togo et probablement dans toute l'Afrique de l'ouest également. Si cela peut servir d'appui, les résultats des chapitres 5 et 6 suggèrent eux aussi une certaine validité à ces trois espèces en utilisant des caractères morphologiques microscopiques d'une part et l'activité biologique d'autre part.

L'utilisation de caractères foliaires en grand nombre peut mener à considérer ceux-ci redondants. Les caractères utilisés ici pourraient être considérés redondants de deux façons: parce qu'ils sont corrélés logiquement (*i.e.* l'un est la conséquence logique de l'autre) ou parce qu'ils sont corrélés empiriquement (*i.e.* dont la corrélation observée est très grande; Sneath et Sokal 1973). Si tel est le cas, on doit pouvoir expliquer pourquoi ces caractères sont néanmoins valides (*i.e.* expliquent une partie de la variabilité, ont une base théoriquement génétique). Ainsi, les caractères mesurant la distance à la largeur maximale des feuilles (caractères 37-39) pourraient être considérés logiquement

corrélés avec la longueur et / ou la largeur de la feuille (caractères 2-7). Ces caractères sont bien distincts: la distance à la largeur maximale des feuilles est en fait une mesure de la forme générale de la feuille alors que la longueur et la largeur sont des mesures de taille. Une feuille, peu importe sa longueur ou sa largeur, sera ovée, lancéolée ou cordée par exemple pour une petite distance à la largeur maximale et oblancéolée, obovée ou obcordée pour une grande distance. Ce caractère a donc une base génétique réfutant l'idée qu'il soit corrélé avec les deux autres.

La corrélation empirique observée entre les caractères est normale et jusqu'à un certain point nécessaire. Tous les caractères ayant été mesurés sur un spécimen à la fois, ceux-ci sont nécessairement corrélés. Pour diminuer ce type d'erreur, on doit éliminer les caractères que l'on considère avoir la même cause. Dans le cas présent, les caractères possédant de grandes corrélations entre-eux n'avaient pas de cause unique et leur élimination ne pouvait être justifiée.

Si on compare maintenant un même caractère mesuré sur les trois feuilles utilisées (la plus longue, la plus courte et une troisième au hasard), on peut aboutir à certains problèmes. Rappelons que l'utilisation de ces caractères sur plusieurs feuilles par spécimens a été faite pour mesurer le mieux possible la variation morphologique exhibée. On peut éliminer d'emblée la possibilité que ces caractères soient corrélés logiquement: la longueur de la feuille la plus courte (pour prendre cet exemple) n'est pas la cause ou la conséquence de la longueur de la feuille la plus longue. Les feuilles ayant été mesurées chez un même spécimens alors qu'elles étaient bien développées, ces mesures ont en effet permis de mettre en évidence le polymorphisme foliaire intra-spécimen et ainsi d'améliorer la validité des analyses effectuées. La longueur de la feuille la plus courte est possiblement corrélée empiriquement avec la longueur de la feuille la plus longue, mais pas plus qu'elle ne l'est avec d'autres caractères.

Avec le recul, en pensant au hasard ayant guidé le choix du Togo comme terrain d'étude du complexe-spécifique *Trema guineensis*, on ne peut pas nier le fait que ce choix en était un excellent. Le Togo, étendu en latitude de la côte jusqu'à 600 km dans l'arrière pays ouest africain, exhibe une diversité climatique, physique et écologique particulièrement grande. Ce fait était relativement bien appréhendé dès le début grâce à la littérature obtenue sur le sujet (brièvement décrite au chapitre 3) et était rencontrée également dans les autres régions d'Afrique occidentale.. Ce qui était n'était pas prévu au départ, et ce qui a fait que le Togo était peut-être plus approprié comme site d'étude, est la présence de cette anomalie climatique rencontré sur les côtes ghanéenne, togolaise et béninoise, le *Dahomey gap* décrit au chapitre 3. Ce phénomène a permis d'observer une grande partie de la variation morphologique exhibée par le complexe-spécifique *T. guineensis* sur un territoire relativement restreint. La même méthodologie appliquée dans un autre pays ouest-africain, où les conditions ne sont pas aberrantes comme au Togo comme c'est le cas du Sénégal au Ghana, donc où moins d'endroits secs sont présents sur une surface aussi considérable, n'aurait sûrement pas permis l'observation de spécimens de *T. africana* en quantité suffisante pour être considérée comme une espèce. On aurait probablement attribué la morphologie de celle-ci à une variété locale ou encore à une exception aléatoire tout simplement. Alexandre (1978), qui traite de l'écologie de *T. guineensis* en Côte-d'Ivoire ne distingue que deux phénotypes que l'on pourrait assigner, d'après la lecture de ses descriptions, à *T. orientalis* uniquement. Il ne souligne en aucun endroit l'existence d'une forme arbustive buissonnante qui correspondrait à *T. africana*, ce qui laisse penser que cette espèce est rencontrée de façon plutôt ponctuelle dans ce pays. Tchoumé (1980) en décrit cependant la présence sous le nom de *T. parvifolia* (voir pages 24, 60 et 87-88). L'absence d'observation de spécimens de *T. africana* dans le nord du Togo (au delà de 9°30' N environ), suggère que cette espèce croît mal

en terrain trop sec. Les quelques spécimens d'herbier observés hors Togo et assignés à *T. africana* (voir page 94) ne proviennent d'ailleurs jamais de pays sahéliens comme le Mali ou le Burkina Faso. Ceci ne signifie pas que l'espèce en est absente mais suggère plutôt une faible représentation.

Les résultats d'activités biologiques obtenus (chapitre 6), bien que ne confirmant pas une ségrégation des trois espèces à ce niveau, n'en sont pas moins intéressantes. Ces résultats constituent les premières mentions de la présence d'activités insecticides, nématocides et antivirales dans ces espèces de *Trema* d'Afrique occidentale. Il est à espérer que ces nouvelles données permettront de nouvelles directions de recherches dans les domaines agricole et médical en milieux tropicaux.

## RÉFÉRENCES

- ADJANOHOUN, E. J., AHYI, M. R. A., AKE ASSI, L., AKPAGANA, K., CHIBON, P., EL-HADJI, A., EYME, J., GARBA, M., GASITA, J.-N., GBEASSOR, M., GOUDOTE, E., GUINKO, S., HODOUTOU, K.-K., HOUNGNON, P., KEITA, A., KEOULA, Y., KLUGA-OCLOO, W. P., LO, I., SIAMEVI, K. M. and TAFFAME, K. K. 1986. Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques au Togo. Agence de coopération culturelle et technique, Paris, France.
- AKÉ ASSI, L. and GUINKO, S. 1991. Plantes utilisées dans la médecine traditionnelles en Afrique de l'Ouest. Roches, Basel.
- AKKERMANS, A.D.L., ABDULKADIR, S. et TRINICK, M.J. 1978a. Nitrogen-fixing root nodules in Ulmaceae. *Nature* 274: 190.
- AKKERMANS, A.D.L., ABDULKADIR, S. et TRINICK, M.J. 1978b. N<sub>2</sub>-fixing root nodules in Ulmaceae: *Parasponia* or (and) *Trema* spp.? *Plant and Soil* 49: 711-715.
- ALEXANDRE, D.-Y. 1978. Observations sur l'écologie de *Trema guineensis* en basse Côte d'Ivoire. *Cahiers de l'O.R.S.T.O.M., série Biologie*, XIII(3): 261-266.
- AYIKU, M. N. B. 1992. Ghana herbal pharmacopoeia. Technology Transfer for Scientific and Industrial Research. London, UK.
- BAUER, R. et WAGNER, H. 1991. *Echinacea* species as potential immunostimulatory drugs. In: *Medicinal plants research*, vol. 5. H. WAGNER et N.R. FARNSWORTH (Eds.). Academic Press, London. pp. 254-321.
- BAUM, B. R. & BAILEY, L. G. 1990. A numerical taxonomic investigation of the *Hordeum brevisubulatum* aggregate. *Canadian Journal of Botany* 69: 2011-2019.



- BAUM, B. R. & BAILEY, L. G. 1994. Taxonomy of *Hordeum caespitosum*, *H. jubatum*, and *H. lechleri* (Poaceae: Triticeae). *Plant Systematics and Evolution* 190: 97-111.
- BAUM, B. R., YANG, J.-L. and YEN, C. 1995. Taxonomic separation of *Kengyilia* (Poaceae: Triticeae) in relation to nearest related *Roegneria*, *Elymus*, and *Agropyron*, based on some morphological characters. *Plant Systematics and Evolution* 194: 123-132.
- BEHNKE, H.-D. 1984. Plant trichomes - Structure and Ultrastructure: General terminology, taxonomic applications, and aspects of trichome-bacteria interaction in leaf tips of *Dioscorea*. *In: Biology and Chemistry of plant trichomes. Edited by E. Rodriguez, P.L. Healey and I. Mehta.* Plenum Press, New York. pp. 1-21.
- BERLYN, G.P. and MIKSCHE, J.P. 1976. Botanical microtechnique and cytochemistry. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- BLUME, C. L. 1856. *Museum Botanicum Lugduno-Batavorum*, T. II. E. J. Brill, Lugduni-Batavorum (Leiden), The Netherlands.
- BRUNEL, J. F., HIEPKO, P. and SCHOLTZ, H. 1984. *Flore analytique du Togo. Phanérogames.* G.T.Z. Eschborn, Germany.
- BURKILL, I. H. 1935. *A dictionary of the economic products of the Malay peninsula*. Vol. II. Crown agents for the colonies, London, UK.
- CHERNICK, V.V. 1975. Arrangement and reduction of perianth and androecium parts in representatives of the Ulmaceae Mirbel and Celtidaceae Link. *Bot. Zhurn.* 60: 1561-1573. (En russe).
- CHERNICK, V.V. 1980. Peculiarities of structures and development of the pericarp of the representatives of the family Ulmaceae and Celtidaceae. *Bot. Zhur.* 65: 521-531. (En russe).

- CHERNICK, V.V. 1981. Pseudomonomeric gynoecium of the Ulmaceae and Celtidaceae representatives. Bot. Žurn. 66: 958-962. (En russe).
- CHERNICK, V.V. 1982. Characteristics of the structural development of spermoderm in some representatives of Ulmaceae and Celtidaceae. Bot. Zhur. 67: 1216-1220. (En russe).
- COOLEY, W. W. and LOHNES, P. R. 1971. Multivariate Data Analysis. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
- COOMBE, D.E. 1960. An analysis of the growth of *Trema guineensis*. Journal of Ecology 48: 219-261.
- CORNEVIN, R. 1969. Histoire du Togo. Berger-Levrault, Paris, France.
- CRONQUIST, A. 1981. An Integrated Sytem of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press, New York, USA.
- CROVELLO, T.J. 1968. The Effect of Change of Number of OTU'S in a Numerical Taxonomic Study. Brittonia 20: 346-367.
- CROVELLO, T.J. 1969. Effects of Changes of Characters and of Number of Characters in Numerical Taxonomy. Am. Midl. Nat. 81(1): 68-86.
- CROVELLO, T.J. 1970. Analysis of Character Variation in Ecology and Systematics. Ann. Rev. Ecol. Syst. 1: 55-98.
- CUFODONTIS, G. 1953. Enumeratio plantarum aethiopiae spermatophyta. Bull. Jard. Bot. Brux. 23, suppl.
- DALZIEL, J. M. 1937. The Useful Plants of West Tropical Africa (appendix to the F.W.T.A.). Crown Agents for the Colonies, London, UK.
- DARNLEY GIBBS, R. 1974. Chemotaxonomy of flowering plants, V. III. McGill-Queen's University Press, Montreal & London, Canada.

- DAYDON JACKSON, B. 1885. Index Kewensis. Clarendon Press, Oxford, UK.
- EHLERINGER, J. R., MOONEY, H. A., GULMON, S. L. and RUNDEL, P. W. 1981. Parallel evolution of leaf pubescence in *Encelia* in coastal deserts of North and South America. *Oecologia* 49: 38-41.
- ENGLER, A. 1892. Über die Hochgebirgsflora des tropischen Afrika. Verlag von Königlich Akademie der Wissenschaften. Allemagne.
- ENGLER, A. 1895. Die Pflanzenwelt Ost-Afrikas. C: 160. Dietrich Reimer, Berlin.
- ENGLER, A. 1915. Die Pflanzenwelt Afrikas. In: A. Engler et O. Drude. Die Vegetation der Erde, IX, III. Band, I. Heft. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, Allemagne.
- ERDTMAN, G. 1966. An Introduction to Palynology. I. Angiosperms. Hafner, New York, USA.
- ERN, H. 1979. Die Vegetation Togos. Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia* 9: 295-316.
- FARNSWORTH, N.R., AKERELE, O., BINGEL, A.S. 1985. Medicinal plants in therapy. *Bull. World Health Organiz.*, 63: 965-981.
- FARNSWORTH, N.R. et SOEJARTO, D.D. 1991. Global importance of medicinal plants. *In* Conservation of medicinal plants. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- FICALHO, C. De. 1947. Plantas Uteis da Africa Portuguesa, 2e ed. Agencia Geral Das Colonias, Portugal.
- FOSTER, S. 1991. Echinacea: Nature's immune enhancer. Healing Arts Press, Rochester, VT, USA.
- GANGADHARA, M. and INAMDAR, J.A. 1977. Trichomes and stomata, and their significance in the Urticales. *Plant. Syst. Evol.* 127: 121-137.
- GARDINER, R. O. 1965. Studies in the leaf anatomy and geographic distribution of *Trema*. M. Sc. Thesis, University of Connecticut, USA.

- GIANNASI, D.E. 1978. Generic relationships in the Ulmaceae based on flavonoid chemistry. *Taxon* 27: 331-344.
- GIVNISH, T. J. 1987. Comparative studies of leaf form: Assessing the relative roles of selective pressures and the phylogenetic constraints. *New Phytologist* 106 (suppl.): 131-160.
- GOWER, J. C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27: 857-871.
- GREUTER, W., BARRIE, F. R., BURDET, H. M., CHALONER, W. G., DEMOULIN, V., HAWKSWORTH, D. L., JØRGENSEN, P. M., NICOLSON, D. H., SILVA, P. C., TREHANE, P. and MCNEILL, J. 1994. International Code of Botanical Nomenclature (Tokyo Code). Koeltz Scientific Books, Königstein, Germany.
- GRUDZINSKAYA, I. A. 1967. Ulmaceae and reasons for distinguishing Celtidaceae as a separate family Celtidaceae Link. *Bot. Zhur.* 52: 1723-1748. (En russe, résumé en anglais).
- GUELLY, K.A. 1994. Les savanes des plateaux de la zone forestière sub-humide du Togo. Thèse de doctorat de l'Université de Paris 6, spécialité Botanique Tropicale, Paris, France.
- HALLÉ, F. et OLDEMAN, R. A. A. 1970. Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Masson, Paris, France.
- HARBORNE J. B. and TURNER, B. L. Plant chemosystematics. Academic Press, London, UK.
- HAUMAN, L. 1942. Note sur les Ulmacées du Congo belge. *Bull. Jard. Bot. Brux.* 16: 407-412.
- HEGNAUER, R. 1973. Chemotaxonomie der Pflanzen, Band 6. Birkhäuser Verlag. Basel, Germany.
- HIERN, W. P. 1900. Catalogue of the African Plants Collected by Dr. Friedrich Welwitsch in 1853-61. Dicotyledons, Part IV. H.M. Stationery Office, London, UK.
- HOLLAND, J. H. 1922. The Useful Plants of Nigeria. H.M. Stationery Office, London, UK.

- HOLMGREN, P. K., HOLMGREN, N. H. and BARNETT, L. C. 1990. Index Herbariorum. Part I: The Herbaria of the World. 8th ed. New York Botanical Garden, Bronx, New York, USA.
- HUTCHINSON, J. and DALZIEL, J. M. 1958. Flora of West Tropical Africa, 2nd edition, V.1, part 2. Crown agents for overseas governments and administrations, London, UK.
- ICRAF (International Center for Research in Agroforestry). 1992. A Selection of Useful Trees and Shrubs for Kenya. Nairobi, Kenya.
- INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL - France. 1980. Cartes du Togo au 1:200 000 NB-31-XIV-XIII Lomé. Institut Géographique National, Paris.
- INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL - France. 1986a. Cartes du Togo au 1:200 000 NB-31-XIX-XX Atakpamé. Institut Géographique National, Paris.
- INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL - France. 1986b. Cartes du Togo au 1:200 000 NC-31-I-II Sokodé. Institut Géographique National, Paris.
- INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL - France. 1989a. Cartes du Togo au 1:200 000 NC-31-VII-VIII Kara. Institut Géographique National, Paris.
- INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL - France. 1989b. Cartes du Togo au 1:200 000 NC-31-XIII-XIV Dapaong. Institut Géographique National, Paris.
- IRVINE, F. R. 1961. Woody plants of Ghana, Oxford University Press, London, UK.
- IWU, M. M. 1993. Handbook of African medicinal plants. CRC Press, Boca Raton, USA.
- JARDINE, N. and SIBSON, R. 1971. Mathematical taxonomy. John Wiley & Sons Ltd, London, UK.
- JOHNSON, H.B. 1975. Plant pubescence: an ecological perspective. Bot. Rev. 41(3): 233-258.

- KOKKINI, S., KAROUSOU, R. and VOKOU, D. 1994. Pattern of geographic variation of *Origanum vulgare* trichomes and essential oil content in Greece. *Biochemical systematics and ecology* 22(5): 517-528.
- KRAUSS, F. 1845. Pflanzen des Cap- und Natal-Landes, gesammelt und zusammengestellt von Dr. Ferdinand Krauss. *Flora* 28: 81-96.
- LAMOUREUX, M. 1969. Carte pédologique du Togo au 1/1000000; Notice explicative. ORSTOM, Paris, France.
- LEROY, J.-F. 1952. Ulmacées (fam. 54). *In* Flore de Madagascar et des Comores. H. Humbert, ed. Firmin-Didot et Cie, Paris, France.
- LEVIN, D.A. 1973. The role of trichomes in plant defence. *Quart. Rev. Biol.* 48(1): 3-16.
- LEWIS, J. A. and FLEMING, J. T. 1995. Basic Culture Methods. *In* Methods in Cell Biology, Vol. 48, Part 1: *Caenorhabditis elegans*: Modern Biological Analysis of an Organism. *Edited by* H. F. EPSTEIN and D. C. SHAKES. *Series edited by* L. WILSON and P. MATSUDAIRA. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- LINK, D. H. F. 1831. Handbuch zur Erkennung der nutzbarsten und um häufigsten vorkommenden Gewäse. Haude & Spener'schen (S. J. Josephy), Berlin. Allemagne.
- LOUREIRO, J. De, 1790. Flora Cochinchinensis, T. II. Ulyssipone (Lisboa), Portugal.
- MALCOLM, S. A. and SOFOWORA, E. A. 1969. Antimicrobial Activity of Selected Nigerian Folk Remedies and Their Constituent Plants. *Lloydia* 32 : 512-517.
- MARLES, R.J., HUDSON, J.B., GRAHAM, E.A., SOUCY-BREAU, C., MORAND, P., COMPADRE, R.L., COMPADRE, C.M., TOWERS, G.H.N. and ARNASON, J.T. 1992. Structure-activity studies of photoactivated antiviral and cytotoxic tricyclic thiophenes. *Photochemistry and Photobiology* 56: 479-487.

- McGREGOR, R.L. 1968. The taxonomy of the genus *Echinacea* (Compositae). The University of Kansas Science Bulletin 48: 113-142.
- METCALFE, C.R. and CHALK, L. 1950. Anatomy of the Dicotyledons. V. II. Clarendon Press, Oxford, UK.
- MIRBEL, C. F. B. 1815. Éléments de physiologie végétale et de botanique. Magimel, Paris, France.
- MOUTON, J. A. 1976. La biométrie du limbe: Mise au point de nos connaissances. Bulletin de la Société Botanique de France, 123(3-4): 145-158.
- MOUTON, J. A. 1985. Morphologie foliaire: nouvelles perspectives. Actes du 110e congrès national des sociétés savantes, Montpellier 1985, Fascicule II Biologie animale et Biologie végétale. Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris, France. pp. 267-276.
- NAG, A. et MATAI, S. Chemical composition of some fodder trees in and around Calcutta. Indian Vet. J. 69: 411-414.
- NAPRALERT (Natural Product Database). The University of Chicago. USA.
- OBAFEMI, C.A., OGUNKOYA, L., QUARTEY, J.A.K. et WRIGHT, E.S. 1979. Structure of the triterpenoid alcohol trematol. Phytochemistry 18: 496-497.
- OGUNKOYA, L., OLUBADJO, O.O. et SONDEHA, D.S. 1972a. Derivatives of long chain hydrocarbon from *Trema orientalis*. Phytochemistry 11: 2361.
- OGUNKOYA, L., OLUBADJO, O.O. et SONDEHA, D.S. 1972b. Triterpenoid alcohols from *Trema orientalis*. Phytochemistry 11: 3093-3094.
- OGUNKOYA, L., OLUBADJO, O.O. et SONDEHA, D.S. 1973. Simiarenone from *Trema orientalis*. Phytochemistry 12: 732-733.
- OGUNKOYA, L., OLUBADJO, O.O. et SONDEHA, D.S. 1977. A new triterpenoid alcohol from *Trema orientalis*. Phytochemistry 16: 1606-1608.

- OMORI, Y. et TERABAYASHI, S. 1993. Gynoecial Vascular Anatomy and its Systematic Implications in Celtidaceae and Ulmaceae (Urticales). *J. Plant Res.* 106: 249-258.
- PFEIFFER, L. 1874. *Nomenclator botanicus*, vol. II. Theodori Fisheri, Casselis.
- PIMENTEL, R. A. 1979. *Morphometrics. The multivariate analysis of biological data.* Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, Iowa, USA.
- PLANCHON, J.-E. 1848. Sur les Ulmacées. *Ann. Sci. Nat. Sér. 3*, 10: 316-337.
- PLANCHON, J.-E. 1873. Ulmaceae. *In*: A. Pyrame De Candolle, *Prodromus systematis naturalis regni vegetabilis*, XVII. G. Masson, Paris. pp. 195-205.
- POLHILL, R. M. 1964. Enumeration of the Ulmaceae in Africa south of the Sahara. *Kew Bulletin* 19: 139-145.
- RENDLE, A. B. 1917. Ulmaceae. *In*: D. PRAIN, *Flora of Tropical Africa*, Vol. VI, sect. 2. Lovell Reeve & Co., London, UK.
- RUSE, M. 1973. *The Philosophy of Biology.* Hutchinson, London, UK.
- SANFORD, W.W. et ISICHEI, A.O. 1986. Savanna. *In* *Plant Ecology in West Africa. Edited by* G.W. Lawson. John Wiley & Sons Ltd, London, UK.
- SAS Institute Inc. 1989. *SAS/STAT® User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 1*, Cary, NC: SAS Institute Inc. 1989.
- SAS Institute Inc. 1996. *SAS/STAT® Software: Changes and enhancements through release 6.11*, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SAS Institute Inc. 1997. *SAS version 6.12.* Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SCHAEFFER, J. M. and HAINES, H. W. 1989. Avermectin binding in *Caenorhabditis elegans*. A two-state model for the avermectin binding site. *Biochem. Pharm.* 38(14): 2329-2338.
- SCHUMACHER, F. C. 1827. *Beskrivelse af Guineiske Planter.* Kjøbenhavn, Denmark.



- SEIGLER, D. S. 1981. Secondary metabolites and plant systematics. *In* The Biochemistry of Plants, Volume 7. Academic Press, London, UK. pp. 139-176.
- SMITH, J. P. 1977. Vascular Plant Families. Mad River Press, Eureka, California, USA.
- SNEATH, P.H.A. 1995. Thirty Years of Numerical Taxonomy. *Syst. Biol.* 44(3): 281-298.
- SNEATH, P.H.A. and SOKAL, R.R. 1973. Numerical taxonomy. W.H. Freeman and Co. San Francisco, CA, USA
- SOEPADMO, E. 1977. Ulmaceae. *In* Flora Malesiana, Vol. 8, part 2. *Edited by* C. G. G. J. Van Steenis. The Netherlands.
- SOKAL, R.R. 1974. Classification: Purposes, Principles, Progress, Prospects. *Science* 185(4157): 1115-1123.
- SOKAL, R.R. and CROVELLO, T.J. 1970. The biological species concept: a critical evaluation. *The American Naturalist*, 104: 127-153.
- SOKAL, R.R. and ROHLF, F.J. 1995. Biometry, 3rd ed. Freeman, New York, USA.
- SOKAL, R.R. and SNEATH, P.H.A. 1963. Principles of Numerical Taxonomy. W. H. Freeman and Company, San Francisco, California, USA.
- SPSS Inc. 1994. Systat v5.0.5. for Windows. SPSS Inc., Chicago, IL, USA.
- SWAMI, K. 1973. Moisture Conditions in the Savanna Region of West Africa. Savanna Research Series No 18, Climatological Research Series No 8. Department of Geography, McGill University. Montréal, Québec, Canada.
- SWEITZER, E.M. 1971. Comparative anatomy of the Ulmaceae. *J. Arnold Arb.* 52(4): 523-585.

- TAKAHASHI, M. 1989. Pollen morphology of Celtidaceae and Ulmaceae: a reinvestigation. *In*: P. R. CRANE et S. BLACKMORE, eds. Evolution, Systematics, and Fossil History of the Hamamelidae, Vol. 2: 'Higher' Hamamelidae. Systematics Association Special Volume No. 40B. Clarendon Press, Oxford, UK. pp. 253-265.
- TANIGUCHI, M. , CHAPYA, A. , KUBO, I. and NAKANISHI, K. 1978. Screening of East African Plants for Antimicrobial Activity. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 26 : 2910-2913.
- TCHOUMÉ, M. 1980. Les Trema d'Afrique occidentale. *In* Compte-rendu du VI<sup>e</sup> colloque international sur l'écologie, la biologie et la systématique des mauvaises herbes, Tome I. COLUMA-EWRS, Montpellier, France.
- TESHOME, A., BAUM, B.R., FAHRIG, L., TORRANCE, J.K., ARNASON, J.T. and LAMBERT, J.D. 1997. Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] landrace variation and classification in North Shewa and South Welo, Ethiopia. Euphytica 97: 255-263.
- THEOBALD, W.L., KRAHULIK, J.L. and ROLLINS, R.C. 1980. Trichome description and classification. *In* Anatomy of the dicotyledons, 2nd ed., V.I. *Edited by* C.R. Metcalfe and L. Chalk. Clarendon Press, Oxford, UK. pp. 40-53.
- THOMS, H, 1909. Über mehrere Drogen aus Westafrika. Notizbl. Königl. Bot. Gart. Berlin. 5: 103-106.
- TOBE, H. and TAKASO, T. 1996. Trichome micromorphology in Celtidaceae and Ulmaceae (Urticales). Acta Phytotax. Geobot. 47(2): 153-168.
- TREWARTHA, G.T. 1981. The Earth's Problem Climates. 2nd ed. The University of Wisconsin Press, Madison, WI, USA.

- TROVATO, A., FORESTIERI, A. M., BARBERA, R. et GALATI, E. M. 1988. Effects of *Trema guineensis* decoction on some metabolic activities in the rat. Pharmacol. Res. Comm. 20, suppl. V: 63-65.
- VASQUEZ-YANES, C. 1977. Germination of a pioneer tree (*Trema guineensis* Ficalho) from equatorial Africa. Turrialba 27: 301-302.
- WATT, J. M. et BREYER-BRANDWIJK, M. G. 1962. The medicinal and poisonous plants of southern and eastern Africa. 2nd ed. E. & S. Livingstone, London, UK.
- ZAVADA, M. 1983. Pollen morphology of Ulmaceae. Grana 22: 23-30.

## ANNEXES

Appendix 1. Location of collection with geographic coordinates and collector name and voucher number. All specimens were collected by the author and are deposited at DAO and TOGO.

| Location                          | Coordinates     | Collection number |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------|
| Plateau de Danyi, Togo            | 7°15' N 0°42' E | 96-1              |
| Plateau de Danyi, Togo            | 7°15' N 0°42' E | 96-2              |
| SE of Aképé, Togo                 | 6°14' N 1°05' E | 96-4              |
| SE of Aképé, Togo                 | 6°14' N 1°05' E | 96-5              |
| Anyamé, E of Tsévié, Togo         | 6°25' N 1°14' E | 96-7              |
| Near Animabio, Togo               | 6°26' N 1°26' E | 96-8              |
| Animabio, Togo                    | 6°15' N 1°06' E | 96-9              |
| Kossi Alakpa Kopé, Togo           | 6°13' N 1°05' E | 96-10             |
| Kossi Alakpa Kopé, Togo           | 6°13' N 1°05' E | 96-11             |
| Between Tsévié and Agbatopé, Togo | 6°25' N 1°15' E | 96-14             |
| Between Tsévié and Agbatopé, Togo | 6°25' N 1°15' E | 96-15             |
| Between Tsévié and Agbatopé, Togo | 6°25' N 1°15' E | 96-16             |
| Between Tsévié and Agbatopé, Togo | 6°25' N 1°15' E | 96-17             |
| Amoussimé-Ntonku, Togo            | 6°37' N 1°30' E | 96-19             |
| Amoussimé-Ntonku, Togo            | 6°37' N 1°30' E | 96-20             |
| Amoussimé-Ntonku, Togo            | 6°37' N 1°30' E | 96-21             |
| Amoussimé-Ntonku, Togo            | 6°37' N 1°30' E | 96-22             |
| Amoussimé-Ntonku, Togo            | 6°37' N 1°30' E | 96-23             |
| Amoussimé-Ntonku, Togo            | 6°37' N 1°30' E | 96-24             |
| Klévougomo, Togo                  | 6°31' N 0°58' E | 96-25             |

Appendix 1. (continued)

| Location                          | Coordinates      | Collection number |
|-----------------------------------|------------------|-------------------|
| Aholoukopé, near Gapé, Togo       | 6°34' N 1°05' E  | 96-26             |
| Aholoukopé, near Gapé, Togo       | 6°34' N 1°05' E  | 96-27             |
| Aholoukopé, near Gapé, Togo       | 6°34' N 1°05' E  | 96-28             |
| Centre forestier, Naboulgou, Togo | 10°9' N 0°50' E  | 96-31             |
| Nawakazou, N of Mango, Togo       | 10°27' N 0°30' E | 96-32             |
| Nawakazou, N of Mango, Togo       | 10°26' N 0°29' E | 96-33             |
| Nawakazou, N of Mango, Togo       | 10°26' N 0°29' E | 96-34             |
| Nawakazou, N of Mango, Togo       | 10°26' N 0°29' E | 96-35             |
| Nawakazou, N of Mango, Togo       | 10°26' N 0°29' E | 96-36             |
| Nawakazou, N of Mango, Togo       | 10°26' N 0°29' E | 96-37             |
| Nawakazou, N of Mango, Togo       | 10°26' N 0°29' E | 96-38             |
| Nawakazou, N of Mango, Togo       | 10°26' N 0°29' E | 96-39             |
| SW of Mango, Togo                 | 10°18' N 0°23' E | 96-40             |
| SW of Mango, Togo                 | 10°18' N 0°23' E | 96-41             |
| SW of Mango, Togo                 | 10°18' N 0°23' E | 96-42             |
| Tamongue, NW of Mango, Togo       | 10°36' N 0°10' E | 96-43             |
| Tamongue, NW of Mango, Togo       | 10°36' N 0°10' E | 96-44             |
| Tamongue, NW of Mango, Togo       | 10°36' N 0°10' E | 96-45             |
| Tamongue, NW of Mango, Togo       | 10°36' N 0°10' E | 96-46             |
| Near Nano, Togo                   | 10°41' N 0°08' E | 96-47             |
| Near Nano, Togo                   | 10°41' N 0°08' E | 96-48             |
| Near Nano, Togo                   | 10°41' N 0°08' E | 96-49             |
| Gando, Togo                       | 10°20' N 0°45' E | 96-52             |
| W of Naboulgou, Togo              | 10°10' N 0°49' E | 96-53             |

## Appendix 1. (continued)

| Location                         | Coordinates      | Collection number |
|----------------------------------|------------------|-------------------|
| Near Naboulgou, Togo             | 10°10' N 0°49' E | 96-54             |
| Near Naboulgou, Togo             | 10°10' N 0°49' E | 96-55             |
| N of Gapé, Togo                  | 6°37' N 1°06' E  | 96-56             |
| Doudava, E of Tabligbo, Togo     | 6°38' N 1°29' E  | 96-57             |
| E of Tsévié, Togo                | 6°25' N 1°15' E  | 96-58             |
| N of Kétao, Togo                 | 9°41' N 1°19' E  | 96-59             |
| N of Kétao, Togo                 | 9°41' N 1°19' E  | 96-60             |
| N of Kétao, Togo                 | 9°41' N 1°19' E  | 96-61             |
| Binano, Togo                     | 9°48' N 1°19' E  | 96-62             |
| Binano, Togo                     | 9°48' N 1°19' E  | 96-63             |
| Near Sola, Togo                  | 9°53' N 1°21' E  | 96-64             |
| Between Anima and Adého, Togo    | 9°56' N 0°52' E  | 96-65             |
| Between Anima and Adého, Togo    | 9°56' N 0°52' E  | 96-66             |
| Between Anima and Adého, Togo    | 9°56' N 0°52' E  | 96-67             |
| 500 m of Sinita, Togo            | 9°55' N 0°50' E  | 96-68             |
| Mboratchika, Togo                | 9°58' N 0°42' E  | 96-69             |
| Nkpé, Togo                       | 9°58' N 0°38' E  | 96-70             |
| Nkpé, Togo                       | 9°58' N 0°38' E  | 96-71             |
| Near Takpamba, Togo              | 10°01' N 0°38' E | 96-72             |
| Near Takpamba, Togo              | 10°01' N 0°38' E | 96-73             |
| Near Défalé going to Kandé, Togo | 9°54' N 1°05' E  | 96-74             |
| Between Mabo and Aloum, Togo     | 9°43' N 1°00' E  | 96-75             |
| Near Boukrou, Togo               | 9°45' N 0°54' E  | 96-76             |
| Past Kabou, going to Kara, Togo  | 9°30' N 0°55' E  | 96-77             |

Appendix 1. (continued)

| Location                          | Coordinates     | Collection number |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------|
| Near Sara-Kawa, Togo              | 9°37' N 1°04' E | 96-78             |
| Near Bafilo, Togo                 | 9°21' N 1°12' E | 96-79             |
| Between Bafilo and Bassar, Togo   | 9°21' N 1°09' E | 96-80             |
| Near Yara-Yara, Togo              | 9°21' N 1°08' E | 96-81             |
| Near Gnata, Togo                  | 9°20' N 1°03' E | 96-82             |
| Near Gnata, Togo                  | 9°20' N 1°04' E | 96-83             |
| N of Kabou, Togo                  | 9°29' N 0°47' E | 96-84             |
| N of Doutikpré, Kabou, Togo       | 9°30' N 0°46' E | 96-85             |
| N of Kabou, Togo                  | 9°32' N 0°44' E | 96-86             |
| Near Nawar, Togo                  | 9°37' N 0°37' E | 96-87             |
| Near Koubouabou, Togo             | 9°35' N 0°33' E | 96-88             |
| Near Bapuré, Togo                 | 9°30' N 0°37' E | 96-89             |
| S of Bassar, Togo                 | 9°07' N 0°43' E | 96-90             |
| Near Folo, Togo                   | 8°57' N 0°40' E | 96-91             |
| Between Folo and Nkonta, Togo     | 8°52' N 0°39' E | 96-92             |
| Boulohou, Togo                    | 8°46' N 0°40' E | 96-93             |
| Boulohou, Togo                    | 8°46' N 0°40' E | 96-94             |
| Near Bassar, Togo                 | 9°13' N 0°51' E | 96-95             |
| Malfakassa, Togo                  | 9°10' N 0°57' E | 96-96             |
| Near Malfakassa, Togo             | 9°10' N 0°59' E | 96-97             |
| Kouloumi, Togo                    | 8°58' N 1°31' E | 96-98             |
| Kouloumi, Togo                    | 8°58' N 1°31' E | 96-99             |
| Between Garadè and Dikoradé, Togo | 9°17' N 1°10' E | 96-100            |
| Efolo, Togo                       | 9°17' N 1°06' E | 96-101            |

## Appendix 1. (continued)

| Location                             | Coordinates     | Collection number |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Efolo, Togo                          | 9°17' N 1°06' E | 96-102            |
| Near Djegba Kondji, Togo             | 6°28' N 0°52' E | 96-103            |
| Alakpa, Togo                         | 6°30' N 0°46' E | 96-104            |
| Akparé, Togo                         | 7°29' N 1°18' E | 96-105            |
| Akparé, Togo                         | 7°28' N 1°20' E | 96-106            |
| Pogadji, Togo                        | 7°25' N 1°30' E | 96-107            |
| Pogadji, Togo                        | 7°23' N 1°32' E | 96-108            |
| Pogadji, Togo                        | 7°23' N 1°32' E | 96-109            |
| Glei, Togo                           | 7°19' N 1°09' E | 96-110            |
| E of Médjéanyi, Togo                 | 7°16' N 1°04' E | 96-111            |
| Patala, Togo                         | 7°46' N 1°32' E | 96-112            |
| Near Efofami, Togo                   | 7°52' N 1°33' E | 96-113            |
| Gbagbadjakou, Togo                   | 7°56' N 1°29' E | 96-114            |
| Between Gbagbadjakon and Kpéhé, Togo | 7°55' N 1°27' E | 96-115            |
| Between Gbagbadjakon and Kpéhé, Togo | 7°55' N 1°27' E | 96-116            |
| Between Dégou and Élavagnon, Togo    | 7°56' N 1°21' E | 96-117            |
| Forêt classée de Kpové, Togo         | 6°56' N 1°16' E | 96-118            |
| Djatekpé, Togo                       | 6°54' N 0°58' E | 96-120            |
| Agbélouvé, Togo                      | 6°39' N 1°09' E | 97-1              |
| Agbélouvé, Togo                      | 6°39' N 0°09' E | 97-2              |
| Forêt de Kpové, Togo                 | 6°56' N 1°16' E | 97-3              |
| Tsagba, Togo                         | 7°00' N 1°22' E | 97-4              |
| Near Asrama, Togo                    | 7°00' N 1°26' E | 97-5              |
| Agbavé, Togo                         | 6°55' N 0°57' E | 97-6              |



## Appendix 1. (continued)

| Location                               | Coordinates     | Collection number |
|----------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Agou-Akplolo, Togo                     | 6°53' N 0°46' E | 97-8              |
| Agbetiko, Togo                         | 6°54' N 0°44' E | 97-9              |
| Near Agotimé, Togo                     | 6°41' N 0°40' E | 97-10             |
| Dalavé, Togo                           | 6°51' N 0°46' E | 97-11             |
| Dalavé, Togo                           | 6°51' N 0°46' E | 97-12             |
| Mt-Agou, Togo                          | 6°52' N 0°45' E | 97-13             |
| Mt-Agou, Togo                          | 6°52' N 0°45' E | 97-14             |
| Agbepakopé, Togo                       | 6°49' N 0°37' E | 97-19             |
| Missahoe, Togo                         | 6°57' N 0°35' E | 97-20             |
| Kouma Dovota, Togo                     | 7°01' N 0°37' E | 97-21             |
| Sassanou, Togo                         | 7°15' N 0°40' E | 97-22             |
| Sassanou, Togo                         | 7°16' N 0°40' E | 97-23             |
| Sassanou, Togo                         | 7°17' N 0°40' E | 97-24             |
| Kpéto, Togo                            | 7°15' N 0°45' E | 97-25             |
| Saoma, Ivory Coast                     | 5°25' N 3°04' W | 97-26             |
| Between Éboué and Noé, Ivory Coast     | 5°19' N 2°54' W | 97-27             |
| W of Noé, Ivory Coast                  | 5°15' N 2°45' W | 97-28             |
| Kakum National Park, Ghana             | 5°21' N 1°24' W | 97-29             |
| Abrafo, Ghana                          | 5°20' N 1°23' W | 97-30             |
| Évou-Apégamé, Togo                     | 7°32' N 1°02' E | 97-31             |
| Near Évou-Apégamé, Togo                | 7°34' N 1°01' E | 97-32             |
| Between Atakpamé and Klabé-Adapé, Togo | 7°32' N 1°00' E | 97-33             |
| Near Badou, Togo                       | 7°36' N 0°38' E | 97-34             |
| Near Djidramé, Togo                    | 7°42' N 0°47' E | 97-35             |

Appendix 1. (continued)

| Location                        | Coordinates     | Collection number |
|---------------------------------|-----------------|-------------------|
| Between Ayagba and Kotova, Togo | 7°45' N 0°47' E | 97-36             |
| Fonhoua, Togo                   | 7°47' N 0°48' E | 97-37             |
| Near Sérégbéné, Togo            | 7°42' N 0°45' E | 97-38             |
| Vhé Nkougnon, Togo              | 7°40' N 0°44' E | 97-39             |
| Near Anyi Gbanyo, Togo          | 7°39' N 0°43' E | 97-40             |
| Adapé, Togo                     | 7°42' N 0°40' E | 97-41             |
| Tsahegbépé, Togo                | 7°44' N 0°41' E | 97-42             |
| Near TadiKom, Togo              | 7°34' N 0°35' E | 97-43             |
| Agbétsetoukopé, Togo            | 7°32' N 0°33' E | 97-44             |
| Anomé, Togo                     | 7°34' N 0°36' E | 97-45             |
| Zogbégan, Togo                  | 7°34' N 0°41' E | 97-46             |
| Between Kpévé and Babahoé, Togo | 7°20' N 0°43' E | 97-47             |
| Près de Babahoé, Togo           | 7°20' N 0°41' E | 97-48             |
| Près d'Agbokopé, Togo           | 7°26' N 0°41' E | 97-49             |
| Près d'Énawé, Togo              | 7°28' N 0°44' E | 97-50             |
| Near Sanguéra, Togo             | 6°12' N 1°06' E | 97-51             |
| Atchavé, Togo                   | 6°49' N 0°38' E | 97-53             |
| Kpové, Togo                     | 6°56' N 1°16' E | 97-54             |

Appendix 2. Correlations between each morphological character and environmental data. A = Altitude; B = Mean annual rainfall; C = Mean annual number of dry months; D = Potential evapotranspiration; E = Mean annual water balance; F = Mean annual number of months with positive water balance.

| Character<br>number | A       | B      | C       | D       | E       | F       |
|---------------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 2                   | 0.1021  | 0.2349 | -0.5108 | -0.3760 | 0.1224  | -0.2453 |
| 3                   | 0.1760  | 0.2493 | -0.4883 | -0.3364 | 0.0920  | -0.2860 |
| 4                   | 0.2482  | 0.2700 | -0.5000 | -0.3323 | 0.1080  | -0.2615 |
| 5                   | 0.0389  | 0.1542 | -0.4567 | -0.3148 | 0.0155  | -0.3206 |
| 6                   | 0.1515  | 0.2012 | -0.4346 | -0.2664 | 0.0222  | -0.3110 |
| 7                   | 0.2177  | 0.2131 | -0.4184 | -0.2679 | 0.0818  | -0.2080 |
| 8                   | 0.0291  | 0.1081 | -0.3799 | -0.2346 | -0.0288 | -0.2898 |
| 9                   | 0.0829  | 0.2251 | -0.4112 | -0.1984 | 0.0255  | -0.2333 |
| 10                  | 0.1847  | 0.1879 | -0.4047 | -0.2403 | -0.0534 | -0.3819 |
| 11                  | 0.0208  | 0.1240 | -0.3792 | -0.2390 | -0.0026 | -0.2666 |
| 12                  | 0.0446  | 0.1658 | -0.3802 | -0.1959 | -0.0580 | -0.2921 |
| 13                  | 0.1666  | 0.1773 | -0.3970 | -0.2547 | -0.0376 | -0.3590 |
| 14                  | 0.0916  | 0.0975 | -0.3545 | -0.2035 | -0.0025 | -0.2797 |
| 15                  | 0.1687  | 0.1635 | -0.2653 | -0.1579 | 0.0140  | -0.1693 |
| 16                  | 0.1553  | 0.1502 | -0.3744 | -0.2916 | 0.0112  | -0.3147 |
| 17                  | -0.1217 | 0.0029 | -0.2674 | -0.3381 | 0.0376  | -0.1855 |
| 18                  | -0.0691 | 0.0432 | -0.2176 | -0.2730 | -0.0076 | -0.1859 |
| 19                  | -0.0110 | 0.0804 | -0.3551 | -0.3257 | 0.1117  | -0.1639 |
| 20                  | 0.3473  | 0.3802 | -0.5033 | -0.3437 | 0.2448  | -0.1120 |

Appendix 2. (continued)

| Character<br>number | A      | B      | C       | D       | E       | F       |
|---------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 21                  | 0.2969 | 0.3448 | -0.4498 | -0.2646 | 0.2340  | -0.0976 |
| 22                  | 0.4200 | 0.3500 | -0.4093 | -0.2579 | 0.1820  | -0.0923 |
| 23                  | 0.0476 | 0.1312 | -0.3214 | -0.2137 | -0.0377 | -0.3075 |
| 24                  | 0.0599 | 0.0399 | -0.1951 | -0.1636 | -0.0415 | -0.2275 |
| 26                  | 0.2925 | 0.1757 | 0.1990  | 0.1491  | 0.0387  | 0.1904  |
| 27                  | 0.1817 | 0.1472 | 0.0939  | 0.0528  | 0.1353  | 0.2127  |
| 28                  | 0.1758 | 0.1493 | 0.0742  | 0.1451  | 0.0541  | 0.1687  |
| 29                  | 0.0540 | 0.0633 | -0.0627 | -0.0224 | 0.0215  | 0.0093  |
| 30                  | 0.0592 | 0.1117 | -0.1274 | -0.0550 | 0.1432  | 0.1264  |
| 31                  | 0.0242 | 0.0251 | -0.0947 | -0.1124 | -0.0311 | -0.1541 |
| 32                  | 0.4538 | 0.4684 | -0.4886 | -0.3059 | 0.3618  | -0.0110 |
| 33                  | 0.3869 | 0.4314 | -0.5629 | -0.3819 | 0.3217  | -0.1136 |
| 34                  | 0.3496 | 0.4071 | -0.5503 | -0.3241 | 0.2793  | -0.1355 |
| 35                  | 0.0576 | 0.0750 | -0.2431 | -0.2261 | 0.0244  | -0.2164 |
| 37                  | 0.1046 | 0.1711 | -0.4377 | -0.2805 | 0.0385  | -0.2858 |
| 38                  | 0.1223 | 0.1503 | -0.3764 | -0.2569 | 0.0310  | -0.2726 |
| 39                  | 0.2074 | 0.1726 | -0.3606 | -0.2706 | 0.0728  | -0.1850 |
| 41                  | 0.3211 | 0.2500 | -0.3669 | -0.2883 | 0.0925  | -0.1897 |
| 42                  | 0.1149 | 0.2757 | -0.4955 | -0.4503 | 0.1795  | -0.1704 |
| 43                  | 0.2353 | 0.3457 | -0.5879 | -0.4230 | 0.2066  | -0.2294 |
| 44                  | 0.3502 | 0.3593 | -0.5553 | -0.3797 | 0.1922  | -0.1918 |

Appendix 3. Assignment of each specimen by the cluster analysis. All specimens collected by Luc St-Laurent.

| Specimen number | Cluster number |
|-----------------|----------------|
| 96-001          | 2              |
| 96-002          | 3              |
| 96-004          | 1              |
| 96-005          | 1              |
| 96-007          | 1              |
| 96-008          | 1              |
| 96-009          | 2              |
| 96-010          | 1              |
| 96-011          | 1              |
| 96-014          | 2              |
| 96-015          | 2              |
| 96-016          | 2              |
| 96-017          | 3              |
| 96-019          | 1              |
| 96-020          | 1              |
| 96-021          | 1              |
| 96-022          | 1              |
| 96-023          | 1              |
| 96-024          | 2              |
| 96-025          | 2              |
| 96-026          | 1              |
| 96-027          | 1              |
| 96-028          | 1              |
| 96-031          | 1              |

Appendix 3. (continued)

| Specimen number | Cluster number |
|-----------------|----------------|
| 96-032          | 1              |
| 96-033          | 1              |
| 96-034          | 1              |
| 96-035          | 1              |
| 96-037          | 1              |
| 96-038          | 1              |
| 96-039          | 1              |
| 96-040          | 1              |
| 96-041          | 1              |
| 96-042          | 1              |
| 96-043          | 1              |
| 96-044          | 1              |
| 96-045          | 1              |
| 96-046          | 1              |
| 96-047          | 1              |
| 96-048          | 1              |
| 96-049          | 1              |
| 96-052          | 1              |
| 96-053          | 1              |
| 96-054          | 1              |
| 96-055          | 1              |
| 96-056          | 1              |
| 96-057          | 1              |
| 96-058          | 3              |

Appendix 3. (continued)

| Specimen number | Cluster number |
|-----------------|----------------|
| 96-059          | 1              |
| 96-060          | 1              |
| 96-061          | 1              |
| 96-062          | 1              |
| 96-063          | 1              |
| 96-064          | 1              |
| 96-065          | 1              |
| 96-066          | 1              |
| 96-067          | 1              |
| 96-068          | 1              |
| 96-069          | 1              |
| 96-070          | 1              |
| 96-071          | 1              |
| 96-072          | 1              |
| 96-073          | 1              |
| 96-074          | 1              |
| 96-075          | 1              |
| 96-076          | 1              |
| 96-077          | 1              |
| 96-078          | 1              |
| 96-079          | 1              |
| 96-080          | 1              |
| 96-081          | 1              |
| 96-082          | 1              |

Appendix 3. (continued)

| Specimen number | Cluster number |
|-----------------|----------------|
| 96-083          | 1              |
| 96-084          | 1              |
| 96-085          | 1              |
| 96-086          | 1              |
| 96-087          | 1              |
| 96-088          | 1              |
| 96-089          | 1              |
| 96-090          | 1              |
| 96-091          | 1              |
| 96-092          | 1              |
| 96-093          | 1              |
| 96-094          | 2              |
| 96-095          | 1              |
| 96-096          | 2              |
| 96-097          | 1              |
| 96-098          | 1              |
| 96-099          | 1              |
| 96-100          | 1              |
| 96-101          | 1              |
| 96-102          | 1              |
| 96-103          | 1              |
| 96-104          | 3              |
| 96-105          | 1              |
| 96-106          | 1              |



Appendix 3. (continued)

| Specimen number | Cluster number |
|-----------------|----------------|
| 96-107          | 1              |
| 96-108          | 1              |
| 96-109          | 1              |
| 96-110          | 1              |
| 96-111          | 1              |
| 96-112          | 1              |
| 96-113          | 1              |
| 96-114          | 1              |
| 96-115          | 1              |
| 96-116          | 1              |
| 96-117          | 1              |
| 96-118          | 2              |
| 96-120          | 1              |
| 97-001          | 1              |
| 97-002          | 2              |
| 97-003          | 2              |
| 97-004          | 1              |
| 97-005          | 1              |
| 97-006          | 1              |
| 97-008          | 2              |
| 97-009          | 3              |
| 97-010          | 2              |
| 97-011          | 2              |
| 97-012          | 2              |

Appendix 3. (continued)

| Specimen number | Cluster number |
|-----------------|----------------|
| 97-013          | 3              |
| 97-014          | 3              |
| 97-019          | 3              |
| 97-020          | 2              |
| 97-021          | 2              |
| 97-022          | 2              |
| 97-023          | 3              |
| 97-024          | 3              |
| 97-025          | 3              |
| 97-026          | 2              |
| 97-027          | 2              |
| 97-028          | 2              |
| 97-029          | 2              |
| 97-030          | 2              |
| 97-031          | 1              |
| 97-032          | 2              |
| 97-033          | 3              |
| 97-034          | 2              |
| 97-035          | 1              |
| 97-036          | 2              |
| 97-037          | 3              |
| 97-038          | 3              |
| 97-039          | 3              |
| 97-040          | 3              |

Appendix 3. (continued)

| Specimen number | Cluster number |
|-----------------|----------------|
| 97-041          | 2              |
| 97-042          | 2              |
| 97-043          | 3              |
| 97-044          | 1              |
| 97-045          | 3              |
| 97-046          | 3              |
| 97-047          | 3              |
| 97-048          | 3              |
| 97-049          | 2              |
| 97-050          | 2              |
| 97-051          | 1              |
| 97-053          | 3              |
| 97-054          | 1              |