

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTÉ DES SCIENCES
FACULTY OF SCIENCE

**CENTRE DE RECHERCHE ET DE FORMATION DOCTORALE EN SCIENCE DE
LA VIE, SANTÉ ET ENVIRONNEMENT**

*CENTER OF RESEARCH AND TRAINING IN GRADUATE STUDIES IN LIFE SCIENCE,
HEALTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE*

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES

DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

**Dendrochronologie, densité du bois et
dendrométrie de quelques espèces forestières
exploitées au Cameroun**

**Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/Ph.D. en
Biologie des Organismes Végétaux**

Option : Botanique-Écologie ; Spécialité : Biologie du Bois & Écologie Forestière

Par

AMOUGOU NDI Yves Achille

Matricule : 03T012

Master ès Science



Jury

Président : Ambang Zachée, *Professeur* Université de Yaoundé I

Rapporteurs : Mbolo Marie, *Professeur* Université de Yaoundé I

: Ndongo Din, *Professeur* Université de Douala

Membres : Beeckman Hans, *Professeur* Africa Museum Tervuren-Belgique

Priso Richard Jules, *Professeur* Université de Douala

Mbarga Bindzi Marie Alain, *Professeur* Université de Yaoundé I

Ngodo Melingui Jean Baptiste, *Maître de Conférences* Université de Yaoundé I

Sous la codirection de

MBOLO Marie

Professeur

NDONGO DIN

Professeur

Université de Douala

Année 2024



DÉPARTÉMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

Yaoundé, le 24 AVR 2025

ATTESTATION DE CORRECTION

Nous soussignés, membres du jury de soutenance de la thèse du diplômé de **Doctorat/Ph.D de Biologie des Organismes Végétaux, Option : Botanique & Ecologie**, soutenue le 12 février 2025 par l'étudiant **AMOUGOU NDI Yves Achille** matricule : **03T012** intitulé « **Dendrochronologie, densité du bois et dendrométrie de quelques espèces forestières exploitées au Cameroun** ». Certifions qu'il a effectué les corrections conformément aux remarques et recommandations du jury.

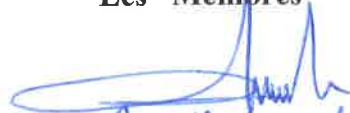


En foi de quoi la présente attestation de recherche lui est établie et délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Les Rapporteurs


Prof. M. Mboko

NDONZO DIN


Les Membres


Pr. BARGA TUNDU

Ngando Ndeh

Pr. J. P. Mbongo

Le Président


Pr. AMBANK

LISTE PROTOCOLAIRE DES ENSEIGNANTS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I Faculté des Sciences Division de la Programmation et du Suivi des Activités Académiques		THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I Faculty of Science Division of Programming and Follow-up of Academic Affairs
LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF		

ANNÉE ACADEMIQUE 2024/2025

(Par Département et par Grade)

DATE D'ACTUALISATION 16 Janvier 2025

ADMINISTRATION

DOYEN : OWONO OWONO Luc-Calvin, *Professeur*

VICE-DOYEN / DPSAA: NDJIGUI Paul-Désiré, *Professeur*

VICE-DOYEN / DSSE : NYEGUE Maximilienne Ascension, *Professeur*

VICE-DOYEN / DRC : NOUNDJEU Pierre, *Maître de Conférences*

Chef Division Administrative et Financière : NDOYE FOE Florentine Marie Chantal, *Maître de Conférences*

Chef Division des Affaires Académiques, de la Recherche et de la Scolarité DAARS :
 AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (44)

N°	Noms et Prénoms	Grade	Observations
1.	BIGOGA DAIGA Jude	Professeur	En poste
2.	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3.	KANSCI Germain	Professeur	En poste
4.	MBACHAM FON Wilfred	Professeur	En poste
5.	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	<i>Chef de Département</i>
6.	NGUEFACK Julienne	Professeur	En poste
7.	NJAYOU Frédéric Nico	Professeur	En poste
8.	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9.	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10.	BEBEE Fadimatou	Maître de Conférences	En poste

11.	BEOY EDJENGUELE Sara N.	Maître de Conférences	En poste
12.	FONKOUA Martin	Maître de Conférences	En poste
13.	AKINDEH MBUH NJI	Maître de Conférences	En poste
14.	ATOCHO Barbara MMA	Maître de Conférences	En poste
15.	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
16.	BELINGA née NDOYE FOE F. M. C.	Maître de Conférences	<i>Chef DAF/FS</i>
17.	DAKOLE DABOY Charles	Maître de Conférences	En poste
18.	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Maître de Conférences	En poste
19.	DJUIDJE NGOUNOU Marceline	Maître de Conférences	En poste
20.	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Maître de Conférences	En poste
21.	EFFA ONOMO Pierre	Maître de Conférences	<i>VD/FS/Univ.Ebwa</i>
22.	EWANE Cécile Annie	Maître de Conférences	En poste
23.	KENGNE NOUEMSI Anne Pascale	Maître de Conférences	En poste
24.	KOTUE TAPTUE Charles	Maître de Conférences	En poste
25.	LUNGA Paul KEILAH	Maître de Conférences	En poste
26.	MANANGA Marlyse Joséphine	Maître de Conférences	En poste
27.	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Maître de Conférences	En poste
28.	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	<i>Doyen FS/UDs</i>
29.	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
30.	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
31.	Palmer MASUMBE NETONGO	Maître de Conférences	En poste
32.	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Maître de Conférences	En poste
33.	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste

34.	BAKWO BASSOGOG Christian Bernard	Chargé de Cours	En poste
35.	ELLA Fils Armand	Chargé de Cours	En poste
36.	EYENGA Eliane Flore	Chargée de Cours	En poste
37.	FOUPOUPOUOGNIGNI Yacouba	Chargé de Cours	En poste
38.	KOUOH ELOMBO Ferdinand	Chargé de Cours	En poste
39.	MADIESSE KEMGNE Eugénie Aimée	Chargée de Cours	En poste
40.	MANJIA NJIKAM Jacqueline	Chargée de Cours	En poste
41.	MBOUCHE FANMOE Marceline J.	Chargée de Cours	En poste
42.	OWONA AYISSI Vincent Brice	Chargé de Cours	En poste

43.	WILFRED ANGIE ABIA	Chargé de Cours	En poste
44.	WOGUIA Alice Louise	Chargée de Cours	En poste

2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (50)

1.	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>DAARS/FS</i>
2.	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste
3.	DZEUFJET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En Poste
4.	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>CD et Vice Doyen/FMSB/UIYI</i>
5.	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	<i>Chef de Département</i>
6.	MEGNEKOU Rosette	Professeur	En poste
7.	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
8.	NOLA Moïse	Professeur	En poste
9.	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
10	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service / Coord.Progr./MINSANTE</i>
11	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste

12	ALENE Désirée Chantal	Maître de Conférences	<i>VD/FS/UEbwa</i>
13	ATSAMO Albert Donatien	Maître de Conférences	En poste
14	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
15	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
16	GOUNOUE KAMKUMO Raceline épouse FOTSING	Maître de Conférences	En poste
17	JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHÉ	Maître de Conférences	En Poste
18	KANDEDA KAVAYE Antoine	Maître de Conférences	En poste
19	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Maître de Conférences	En poste
20	MAHOB Raymond Joseph	Maître de Conférences	En poste
21	MBENOUN MASSE Paul Serge	Maître de Conférences	En poste
22	MOUNGANG Luciane Marlyse	Maître de Conférences	En poste

23	NOAH EWOTI Olive Vivien	Maître de Conférences	En poste
24	MONY Ruth épse NTOINE	Maître de Conférences	En Poste
25	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Maître de Conférences	En poste
26	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
27	NGUEMBOCK	Maître de Conférences	En poste
28	TADU Zephyrin	Maître de Conférences	En poste
29	TAMSA ARFAO Antoine	Maître de Conférences	En poste
30	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
31	YEDE	Maître de Conférences	En poste

32	AMBADA NDZENGUE Georgia Elna	Chargée de Cours	En poste
33	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Chargé de Cours	En poste
34	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
35	FEUGANG YOUMSSI François	Chargé de Cours	En poste
36	FOKAM Alvine Christelle Epse KENGNE	Chargée de Cours	En poste
37	FOSSI TANKOUA Olivia Epse DJEUTCHOUANG SAYANG	Chargée de Cours	En poste
38	GONWOUO NONO Legrand	Chargé de Cours	En poste
39	KOGA MANG DOBARA	Chargé de Cours	En poste
40	LEME BANOCK Lucie	Chargée de Cours	En poste
41	MAPON NSANGO Indou	Chargé de Cours	En poste
42	METCHI DONFACK Mireille Flaure Epse GHOUMO	Chargée de Cours	En poste
43	NDENGUE Jean De Matha	Chargé de Cours	En poste
44	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
45	NJUA Clarisse YAFI	Chargée de Cours	<i>Chef Div. UBa</i>
46	NWANE Philippe Bienvenu	Chargé de Cours	En poste
47	YOUNOUSSA LAME	Chargé de Cours	En poste
48	ZEMO GAMO Franklin	Chargé de Cours	En poste

49	KODJOM WANCHE Jacguy Joyce	Assistante	En poste
----	----------------------------	------------	----------

3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (37)

1.	AMBANG Zachée	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
3.	BIYE Elvire Hortense	Professeur	En poste
4.	MBARGA BINDZI Marie Alain	Professeur	<i>Directeur/MINESUP</i>
5.	MBOLO Marie	Professeur	En poste
6.	NDONGO BEKOLO	Professeur	En poste
7.	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste

8.	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
9.	DJEUANI Astride Carole	Maître de Conférences	En poste
10.	MAHBOU SOMO TOUKAM Gabriel	Maître de Conférences	En poste
11.	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
12.	NGALLE Hermine BILLE	Maître de Conférences	En poste
13.	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	<i>CT/MINRESI</i>
14.	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
15.	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
16.	ONANA JEAN MICHEL	Maître de Conférences	En poste

17.	DIDA LONTSI Sylvere Landry	Chargé de Cours	En poste
18.	GONMADGE CHRISTELLE	Chargée de Cours	En poste
19.	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargée de Cours	En poste
20.	MANGA NDJAGA JUDE	Chargé de Cours	En poste
21.	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargée de Cours	En poste
22.	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargée de Cours	En poste
23.	NSOM ZAMBO EPSE PIAL ANNIE CLAUDE	Chargée de Cours	<i>En détachement/UNESCO MALI</i>
24.	GODSWILL NTSOMBOH NTSEFONG	Chargé de Cours	En poste
25.	KABELONG BANAHOU Louis- Paul-Roger	Chargé de Cours	En poste
26.	KONO Léon Dieudonné	Chargé de Cours	En poste

27.	LIBALAH Moses BAKONCK	Chargé de Cours	En poste
28.	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Chargé de Cours	En poste
29.	TAEDOUNG Evariste Hermann	Chargé de Cours	En poste
30.	TEMEGNE NONO Carine	Chargée de Cours	En poste

31.	BOLIE Hubert	Assistant	En poste
32.	MACHE NKOUANDEU Pasma	Assistante	En poste
33.	MAFFO FOKOU Adèle	Assistante	En poste
34.	METSEBING Blondo-Pascal	Assistant	En poste
35.	NTONMEN YPNKEU Amandine Flore	Assistante	En poste
36.	ONANA EBODE Clotaire	Assistant	En poste

4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (28)

1.	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé de Mission PR</i>
2.	NANSEU NJIKI Charles Péguy	Professeur	En poste
3.	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
4.	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
5.	NJIOMOU C. épouse DJANGANG	Professeur	En poste
6.	NJOYA Dayirou	Professeur	En poste

7.	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
8.	EMADAK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
9.	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
10.	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
11.	KENNE DEDZO GUSTAVE	Maître de Conférences	En poste
12.	MBEY Jean Aime	Maître de Conférences	En poste
13.	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	<i>Chef de Département</i>
14.	NEBAH Née NDOSIRI Bridget NDOYE	Maître de Conférences	<i>Sénatrice/SENAT</i>
15.	NYAMEN Linda Dyorisse	Maître de Conférences	En poste

16	PABOUDAM GBAMBIE AWAWOU	Maître de Conférences	En poste
17	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste
18	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Maître de Conférences	<i>Chef Service/ENS Bertoua</i>
19	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Maître de Conférences	En poste
20	KOUOTOU DAOUDA	Maître de Conférences	En poste

21	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
22	NCHIMI NONO KATIA	Chargée de Cours	En poste
23	NJANKWA NJABONG N. Eric	Chargé de Cours	En poste
24	PATOUOSSA ISSOFA	Chargé de Cours	En poste
25	SIEWE Jean Mermoz	Chargé de Cours	En Poste

26	BOYOM TATCHEMO Franck W.	Assistant	En Poste
27	DANTIO NGUELA Christian Brice	Assistant	En poste
28	LEKENE NGOUATEU Reine	Assistante	En poste

5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (33)

1	Alex de Théodore ATCHADE	Professeur	<i>Chef Div./UBertoua</i>
2	DONGO Etienne	Professeur	<i>Vice-Doyen/FSE/UYI</i>
3	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	<i>Chef de Département UDS</i>
4	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Recteur UBertoua/ Chef de Département</i>
5	MBAZOA née DJAMA Céline	Professeur	En poste
6	MKOUNGA Pierre	Professeur	En poste

7	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
8	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	<i>Director/HTTTC/UBda</i>
9	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
10	KAMTO Eutrophe Le Doux	Maître de Conférences	En poste
1	KENMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste

12	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
13	NGOMO Orléans	Maître de Conférences	En poste
14	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	<i>Chef de Cellule MINRESI</i>
15	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	<i>Chef Div./MINESUP</i>
16	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	<i>Dir ENS/UBertoua</i>
17	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
18	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
19	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
20	OUAHOUE WACHE Blandine M	Maître de Conférences	En poste
21	ZONDEGOUMBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste

22.	MELONG Radius	Chargé de cours	En poste
23.	MESSI Angélique Nicolas	Chargé de Cours	En poste
24.	MUNVERA MFIFEN Aristide	Chargé de Cours	En poste
25.	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
26.	NONO NONO Éric Carly	Chargé de Cours	En poste
27.	OUETE NANTCHOUANG Judith Laure	Chargée de Cours	En poste
28.	SIELINOUE TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
29.	TCHAMGOUE Joseph	Chargé de Cours	En poste
30.	TSAFFACK Maurice	Chargé de Cours	En poste
31.	TSAMO TONTSA Armelle	Chargé de Cours	En poste
32.	TSEMEUGNE Joseph	Chargé de Cours	En poste

33.	NDOGO ETEME Olivier	Assistant	En poste
34.	NGUEMDJO CHIMEZE Valery Wilfried	Assistant	En poste

6- DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES (ER) (1)

1.	BODO Bertrand	Professeur	<i>Chef de Département</i>
----	---------------	------------	----------------------------

7- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (22)

1.	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef de Div. MINESUP</i>
2.	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>IG/MINESUP</i>
3.	NDOUNDAM René	Professeur	En poste

4.	ABESSOLO ALO'O Gislain	Maître de Conférences	<i>CTI/MINFOPRA</i>
5.	MELATAGIA YONTA Paulin	Maître de Conférences	En poste
6.	TSOPZE Norbert	Maître de Conférences	En poste

7.	AMINOU HALIDOU	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
8.	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
9.	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste
10.	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
11.	EKODECK Stéphane Gaël Raymond		
12.	HAMZA Adamou	Chargé de Cours	En poste
13.	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Chargé de Cours	En poste
14.	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
15.	MESSI NGUELE Thomas	Chargé de Cours	<i>Chef de Dpt./Génie Info./U Ebolowa</i>
16.	MONTHÉ DJIADEU Valéry M.	Chargé de Cours	En poste
17.	NZEKON NZEKO'O Armel Jacques	Chargé de Cours	En poste
18.	OLLE OLLE Daniel Claude Georges Delort	Chargé de Cours	<i>Directeur Adjoint ENSET Ebolowa</i>
19.	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste

20.	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
21.	MAKEMBE. S. Oswald	Assistant	<i>Directeur CUTI</i>
22.	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste
23.	NDOM Francis Rollin	Assistant	En poste
24.	NGUIMEYA TSOFAK Baudoin	Assistant	En poste
25.	NKONDOCK. MI BAHANACK. N.	Assistant	En poste

8- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (34)

1.	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	<i>Directeur ENSPY/Chef de Département</i>
----	-----------------------	------------	--

2.	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
3.	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
4.	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	<i>Chef de Division/ENSPY</i>
5.	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
6.	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>VDRC/FS/UUI</i>
7.	TAKAM SOH Patrice	Maître de Conférences	En poste
8.	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	<i>Directeur/AIMS Rwanda</i>
9.	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste

10	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule MINEPAT</i>
11	BOGSO ANTOINE Marie	Chargé de Cours	En poste
12	BITYE MVONDO Esther Claudine	Chargé de Cours	En poste
13	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
14	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
15	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
16	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
17	KOKOMO AYISSI Eric Brice	Chargé de Cours	En poste (transfert de l'université de Douala)
18	LOUMNGAM KAMGA Victor	Chargé de Cours	En poste
19	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
20	MBATAKOU Salomon Joseph	Chargé de Cours	En poste
21	MENGUE MENGUE David Joël	Chargé de Cours	<i>Chef Dpt /ENS Université d'Ebolowa</i>
22	MBIAKOP Hilaire George	Chargé de Cours	En poste
23	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
24	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
25	OGADOA AMASSAYOGA	Chargée de Cours	En poste

26	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	<i>En stage</i>
27	TENKEU JEUFACK Yannick Léa	Chargé de Cours	En poste
28	TCHEUTIA Daniel Duviol	Chargé de Cours	En poste
29	TETSADJIO TCHILEPECK M. Eric.	Chargé de Cours	En poste

30	EBODE ATANGANA Pie Désiré	Assistant	En poste
31	FOKAM Jean Marcel	Assistant	En poste
32	GUIDZAVAI KOUCHERE Albert	Assistant	En poste
33	MAMA ASSANDJE Prosper	Assistant	En poste
34	MANN MANYOMBE Martin Luther	Assistant	En poste
35	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
36	NYOUMBI DLEUNA Christelle	Assistante	En poste

9- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (24)

1.	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	KOUITCHEU MABEKU Epse KOUAM Laure Brigitte	Professeur	En poste
3.	MUNE MUNE Martin Alain	Professeur	En poste
4.	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VD/ DSSE</i>
5.	RIWOM Sara Honorine	Professeur	En poste
6.	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Professeur	En poste

7.	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	<i>Doyen FASA UDs</i>
8.	BOUGNOM Blaise Pascal	Maître de Conférences	En poste
9.	NJIKI BIKOÏ Jacky	Maître de Conférences	En poste
10.	TCHIKOUA Roger	Maître de Conférences	<i>Chef de Service de la Scolarité</i>

11.	EHETH Jean Samuel	Chargé de Cours	En poste
12.	ESSONO Damien Marie	Chargé de Cours	En poste
13.	EZO'O MENGO Fabrice Télésfor	Chargé de Cours	En poste
14.	LAMYE Glory MOH	Chargé de Cours	En poste

15.	MEYIN A EBONG Solange	Chargée de Cours	En poste
16.	MONI NDEDI Esther Del Florence	Chargée de Cours	<i>Chef de Division</i>
17.	NKOUDOU ZE Nardis	Chargé de Cours	En poste
18.	NKOUÉ TONG Abraham	Chargé de Cours	En poste
19.	NGOUE NAM Romial Joël	Chargé de Cours	En poste
20.	NJAPNDOUNKE Bilkissou		
21.	TAMATCHO KWEYANG Blandine Pulchérie	Chargée de Cours	En poste
22.	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Chargée de Cours	En poste
23.	TOBOLBAÏ Richard	Chargé de Cours	En poste

24.	ZO'O EZO'O Fabrice Télesfor	Assistant	En poste
25.	MAYI Marie Paule Audrey	Assistante	En poste

10. DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (47)

1.	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2.	BIYA MOTTO Frédéric	Professeur	<i>DG/HYDRO Mekin</i>
3.	DJUIDJE KENMOE épse ALOYEM	Professeur	En poste
4.	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur Uté Ngaoundéré</i>
5.	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
6.	EYEBE FOU DA Jean sire	Professeur	En poste
7.	FEWO Serge Ibraïd	Professeur	En poste
8.	HONA Jacques	Professeur	En poste
9.	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
10.	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	<i>Chef de Département/Uni. Bertoua</i>
11.	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	<i>Chef de Département</i>
12.	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste

13.	SAIDOU	Professeur	<i>Chef de centre/IRGM/MINRESI</i>
14.	SIEWE SIEWE Martin	Professeur	En poste
15.	SIMO Elie	Professeur	En poste
16.	TABOD Charles TABOD	Professeur	<i>Doyen FS/UBamenda</i>
17.	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
18.	WOAFO Paul	Professeur	En poste
19.	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste
20.	VONDOU Derbetini Appolinaire	Professeur	En poste

21.	ENYEGUE A NYAM épouse BELINGA	Maître de Conférences	<i>Cheffe de Division/ENSPY</i>
22.	FOUEJIO David	Maître de Conférences	<i>Chef Cell/MINADER</i>
23.	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
24.	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Maître de Conférences	En poste
25.	MELI'I Joelle Larissa	Maître de Conférences	En poste
26.	MVOGO ALAIN	Maître de Conférences	En poste
27.	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
28.	WAKATA née BEYA Annie Sylvie	Maître de Conférences	<i>SG UYdé II</i>
29.	WOULACHE Rosalie Laure	Maître de Conférences	<i>Absente de son poste</i>

30.	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
31.	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Chargé de Cours	En poste
32.	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
33.	DJIOTANG TCHOTCHOU Lucie Angennes	Chargée de Cours	En poste
34.	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
35.	KAMENI NEMATCHOUA Modeste	Chargé de Cours	En poste
36.	LAMARA Maurice	Chargé de Cours	En poste
37.	NGA ONGODO Dieudonné	Chargé de Cours	En poste

38.	OTTOU ABE Martin Thierry	Chargé de Cours	<i>Chef de Div./DIPD/UIYI</i>
39.	SOUFFO TAGUEU Merimé	Chargé de Cours	En poste
40.	TCHAPET NJAFA Jean-Pierre	Chargé de Cours	<i>Chef Ser. Adj./FLASH/UIYI</i>
41.	TEYOU NGOUPO Ariel	Chargé de Cours	En poste
42.	TOGUEU MOTCHEYO Alain Bertrand	Chargé de Cours	En poste
43.	WANDJI NYAMSI William	Chargé de Cours	En poste

44.	ETEME Armand Sylvin	Assistant	En poste
45.	NGO MOUELLAS épouse LOTHIN	Assistante	En poste
46.	TCHODIMOU Carole	Assistante	En poste
47.	SOUFFO TAGUEU Merimé	Assistant	En poste

11- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (33)

1.	BISSO Dieudonné	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	EKOMANE Emile	Professeur	<i>Chef Div./UEbwa</i>
3.	GANNO Sylvestre	Professeur	En poste
4.	NDJIGUI Paul-Désiré	Professeur	<i>VD//DPSAA</i>
5.	NGUEUTCHOUA Gabriel	Professeur	<i>CEA/MINRESI</i>
6.	NGOS III Simon	Professeur	En poste
7.	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
8.	ONANA Vincent Laurent	Professeur	<i>Chef de Département/UEbwa</i>
9.	YENE ATANGANA J. Q.	Professeur	<i>Chef Div./MINTP</i>
10.	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Professeur	En poste

11.	Elisé SABABA	Maître de Conférences	En poste
12.	EYONG John TAKEM	Maître de Conférences	En poste
13.	FUH Calistus Gentry	Maître de Conférences	<i>Sec. D'Etat/MINMIDT(ai)</i>
14.	MAMDEM TAMTO Lionelle Estelle, épouse BITOM	Maître de Conférences	En poste

15.	MBIDA YEM	Maitre de Conférences	En poste
16.	MBESSE Cécile Olive	Maitre de Conférences	En poste
17.	METANG Victor	Maître de Conférences	En poste
18.	NGO BIDJECK Louise Marie	Maître de Conférences	En poste
19.	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
20.	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Maître de Conférences	En poste
21.	TCHAKOUNTE Jacqueline épse NUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef. Cellule /MINRESI</i>
22.	TCHAPCHET TCHATO De P.	Maître de Conférences	En poste
23.	TEMGA Jean Pierre	Maître de Conférences	En poste
24.	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>

25.	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
26.	KOAH NA LEBOGO Serge P	Chargé de Cours	En poste
27.	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
28.	NGO'O ZE ARNAUD	Chargée de Cours	En poste
29.	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
30.	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
31.	TENE DJOUKAM Joëlle Flore, épouse KOUANKAP NONO	Chargée de Cours	En poste
32.	FEUMBA Roger	Chargé de Cours	En poste
33.	MBANGA NYOBE Jules	Chargé de Cours	En poste

Répartition des Enseignants de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I

NOMBRE D'ENSEIGNANTS					
DÉPARTEMENT	Professeurs	Maîtres de Conférences	Chargés de Cours	Assistants	Total
BCH	08 (01)	25 (15)	11 (05)	00 (00)	44 (21)
BPA	12 (02)	18 (06)	16 (06)	01 (01)	47 (15)
BPV	08 (02)	10 (03)	14 (06)	06 (03)	39 (14)
CI	06 (01)	14 (02)	05 (01)	03 (01)	28 (05)
CO	06 (01)	14 (05)	12 (03)	02 (00)	33 (09)
ER	01 (00)	/	/	/	01 (0)
IN	03 (00)	03 (00)	13 (01)	06 (00)	24 (01)
MAT	01 (00)	08 (00)	20 (01)	07 (01)	36 (02)
MIB	05 (03)	05 (01)	13 (06)	01 (01)	24 (11)
PHY	17 (01)	11 (04)	15 (01)	04 (02)	45 (08)
ST	10 (00)	14 (05)	09 (02)	00 (00)	33 (07)
Total	67 (11)	122 (41)	128 (32)	30 (09)	342 (88)

Soit un total de **360 (94)** dont :

- Professeurs **67 (11)**
- Maîtres de Conférences **122 (41)**
- Chargés de Cours **128 (32)**
- Assistants **30 (09)**

() = Nombre de Femmes **94**

DÉDICACE

A la mémoire de mes parents M. MANY AMOUGOU Marcel (†)
et son épouse Mme MANY AMOUGOU née ENDALÈ TOKO Solange (†)
pour tous sacrifices et attentions.

REMERCIEMENTS

La réalisation et l'aboutissement de ce travail ont bénéficié du soutien humain, financier et logistique de plusieurs personnes et institutions :

- au Pr. Amougou Akoa (†) regretté superviseur, père et Chef de Département ;
- au Pr. Ambang Zachée actuel Chef de Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'Université de Yaoundé I ;
- au Pr. Ndongo Din de l'Université de Douala, superviseur de thèse qui a bien voulu prendre le relais dans l'équipe d'encadrement de ces travaux ;
- au Pr. Mbollo Marie, directrice des travaux et mère qui a proposé et dirigé cette thèse;
- aux enseignants du Département de Biologie et Physiologie Végétale Pr. Amougou Akoa (†), Pr. Nkongmeneck (†), Dr. Ngaba Zogo (†), Dr. Nwaga, Dr. Ambang, Dr. Ngouo, Dr. Youmbi, Dr. Mbarga, Dr. Kenla, Dr. Kengne (†), Dr. Mbollo, Dr. Boyomo, Dr. Bell, Dr. Zapfack, Pr. Mossebo (†), Dr. Tsoata..., pour l'encadrement durant notre cursus académique ;
- à tous les membres de l'équipe de recherche du Laboratoire de Botanique et d'Ecologie Forestière et l'Unité de Recherche Gestion Durable des Ressources Naturelles ;
- au Pr. Bindzi Isaac 1^{er} Directeur de l'IUT-Bois de Mbalmayo, pour avoir recommandé et facilité notre candidature au stage en Biologie du Bois 2013 ;
- au Pr. Dr. Ir. Beeckman Hans, responsable de la Section Biologie du Bois du MRAC de Tervuren-Belgique, pour nous avoir encadrer dans le domaine de la Biologie du Bois ;
- à tout le staff du laboratoire de Biologie du Bois du MRAC et l'équipe d'encadrement lors des stages et séjours en Biologie du Bois ;
- à Mme Muriel Van Nuffel Responsable des Stages et Séjours au MRAC pour toutes la logistiques, contacts et soutien durant les différents séjours à Tervuren ;
- à Mmes Sarah Tmar et Nathalie Andries Assistantes Administratives au MRAC ;
- à Joëlle De Werdt encadreur du Stage en Biologie du Bois, aux Dr. Mickael Grabner Dr. De Ridder Maikke et Dr. Peter Groenendjick pour l'encadrement en dendrochronologie ;
- au Dr. De Hauteville Thallès, pour l'apprentissage du logiciel statistique R Studio ;
- au Dr. Dié Agathe Ivoirienne de l'Université de Gent pour les conseils dans la réalisation des coupes anatomiques lors du séjour de 2016 au MRAC Tervuren ;
- au Dr. Delvaux Claire, pour l'encadrement sur la rédaction scientifique et la mise à disposition d'un aspirateur pour le ponçage des rondelles de bois ;
- au grand frère Fétéké Richard de PALLISCO-CIFM, pour les conseils sur le choix des espèces forestières à échantionnées dans le cadre de ces travaux ;

- a Mmes Greta et José pour la bonne humeur quotidienne au sein des laboratoires ;
- à l’Ir. Joseph Zwaenepoel pour l’encadrement sur la dendrométrie, les inventaires forestiers dans la forêt de soignes et la reconnaissance des arbres à l’arboretum de Tervuren ;
- aux Dr. Nils Bourlans et Dr. Hubaux Wannas du MRAC, pour leurs conseils et soutien;
- à Mrs. Lieves Kevin et Velud Daniel respectivement pour le soutien dans la réalisation des coupes anatomiques et la mise à disposition des protocoles de microtomie, et le soutien dans la logistique des rondelles de bois au sein des laboratoires du MRAC ;
- à Mme. Nackets Annelore responsable des collections et du xylarium au MRAC, pour la facilitation des travaux aux laboratoires ;
- au Pr. Doucet Jean-Louis de Gembloux Université de Liège-Belgique, pour ses commentaires pertinents dans l’article IAWA ;
- au Dr. Ir. De Mil Tom pour l’encadrement technique, et la mise à disposition du logiciel « SOP DHXCT 2016 » développé à l’Université de Gent-Belgique ;
- aux frères Decolvenaere Guy et Freddy propriétaire de la SFIL-GDC ;
- aux responsables du Site de Ndeng M. Hayache Isaac ; social M. Bounougou Zibi Jean- Claude et l’Aménagiste M. Ottouchiwou Zouberou de la SFIL-GDC ;
- à l’équipe forêt de la SFIL-GDC, pour toute l’aide dans les zones d’exploitation ;
- à mon personnel local : M. Janvier Guela ; M. Séraphin Assoke et M. Théodore ;
- à la Coopération Belge au Développement et au Musée Royal d’Afrique Centrale, pour les différents appuis financiers du Centre d’Information sur la Biodiversité Africaine ;
- à l’International Foundation for Science, pour l’appui financier reçu (NO. D/5689-1) ;
- au MINFOF et surtout à la coordination du projet C2D-PSFE 2 « Aménagement et suivi des forêts du Cameroun », pour la subvention reçue des fonds C2D de l’AFD ;
- à mes sœurs et frères Sylvie, Judith, Marie Geneviève, Thierry, Désiré et Jean-Baptiste pour les encouragements ;
- à mes promotionnaires du cycle de doctorat/Ph.D année 2012 dont je fût le délégué ;
- à mes amis et camarades Brice, Ernest, Patrick, Serge, Joseph, Jean Francois, Borgia, Charles pour les encouragements, le soutien et l’assistance ;
- à mes grandes cousines Marie-Flore Makam à Paris et Marthe Atsama à Avignon pour les moments de détente qu’elles m’ont permis d’avoir ;
- aux enseignants qui ont fait évaluer ces travaux, et aux membres du jury pour avoir examiné cette thèse de doctorat *Ph.D* ;
- à mes princesses Endalè Amougou Marie Gabrielle (2014), Ndonguè Amougou Vianney (2016) et Ebélé Ndi Roxanne Cléa (2018), pour toutes les périodes d’absences.

SOMMAIRE

LISTE PROTOCOLAIRE DES ENSEIGNANTS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES.....	i
DÉDICACE	xvii
REMERCIEMENTS	xviii
SOMMAIRE	xx
LISTE DES FIGURES	xxiii
LISTE DES TABLEAUX	xxvii
LISTE DES ABREVIATIONS	xxix
RÉSUMÉ	xxx
ABSTRACT	xxxii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS	6
I.1. REVUE DE LITTÉRATURE	7
I.1.1. Zone d'étude	7
I.2.1. Définitions des concepts	10
I.3.1. Datation du bois	11
I.4.1. Exploitation forestière	16
I.5.1. Théorie et application de l'anatomie du bois	22
I.6.1. Théorie et application de la dendrochronologie	24
I.7.1. Phénologie des arbres tropicaux	29
I.8.1. Théorie et application de la densité du bois	30
I.9.1. Théorie et application de dendrométrie et d'inventaire forestier	30
CHAPITRE II. MATÉRIEL ET MÉTHODES	31
II.1. MATÉRIEL	32
II.1.1. Choix du site	32
II.1.2. Site d'étude	32
II.1.3. Choix et description des espèces retenues	33
II.1.3.1. <i>Afzelia bipendensis</i> Harms (Fabaceae-Ceasalpinioideae)	37

II.1.3.2. <i>Cylicodiscus gabunensis</i> Harms (Fabaceae-Mimosoideae)	37
II.1.3.3. <i>Entandrophragma cylindricum</i> Sprague (Meliaceae)	37
II.1.3.4. <i>Entandrophragma utile</i> (Dawe & Sprague) Sprague (Meliaceae)	38
II.1.3.5. <i>Erythrophleum suaveolens</i> A. Chev. (Fabaceae- Ceasalpinioideae)	39
II.1.3.6. <i>Mansonia altissima</i> (A. Chev.) A. Chev. (Malvaceae).....	40
II.1.3.7. <i>Milicia exselsa</i> (Welw.) C.C. Berg (Moraceae)	40
II.1.3.8. <i>Pterocarpus soyauxii</i> Taub. (Fabaceae- Papillionioideae)	41
II.1.3.9. <i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum (Malvaceae).....	41
II.1.4. Matériel	43
II.2. MÉTHODES	46
II.2.1. Cernes de croissance des arbres	46
II.2.1.1. Mesure des paramètres dendrométriques	46
II.2.1.2. Récolte et préparation des rondelles de bois	49
II.2.1.3. Analyse des cernes de croissance	51
II.2.1.4. Limites de cernes macro- / microscopiques	68
II.2.1.5. Mesure de l'épaisseur des cernes et «cross dating»	70
II.2.1.6. Traitement et analyse des fichiers de séries de largeurs de cernes	70
II.2.2. Variation radiale de la densité du bois	74
II.2.2.1. Atelier du bois	74
II.2.2.2. Tests de densité.....	75
II.2.2.3. Analyse des paramètres dendrométriques et valeurs de densité du bois	76
II.2.3. Relation hauteur totale et diamètre des arbres	77
II.2.3.1. Analyse des paramètres dendrométriques	77
CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSION	79
III.1. RÉSULTATS	80
III.1.1. Cernes de croissance des arbres.....	80
III.1.1.1. Aspects macroscopiques des rondelles de bois de la 1 ^{ière} phase	80
III.1.1.2. Profil macro-/microscopique de la structure des cernes et anomalies.....	81

III.1.1.3. Estimation des âges (arbres, aux DMEs et biologiques de rotation).....	94
III.1.1.4. Estimation des accroissements (diamétriques et surfaces terrières).....	108
III.1.2. Variation radiale de la densité spécifique du bois	112
III.1.2.1. Variation radiale intra-/interspécifique de la densité de spécifique du bois .	112
III.1.2.2. Densité du bois, phénologie foliaire et tempérament	113
III.1.2.3. Densité du bois estimée et densité de la littérature	113
III.1.3. Relation hauteur totale et-diamètre des arbres	117
III.2. DISCUSSION	122
III.2.1. Cernes de croissance	122
III.2.1.1. Profil macro- /microscopique de la structure des cernes, anomalies	122
III.2.1.1.1. Aspect macroscopique des rondelles de bois	122
III.2.1.2 Profil macro- /microscopique de la structure des cernes, anomalies	122
III.2.1.3. Estimation des âges (arbres, aux DMEs et biologiques de rotation).....	123
III.2.1.4. Détermination des accroissements annuels.....	125
III.2.2. Variation radiale de la densité spécifique du bois	128
III.2.3. Relation hauteur totale et diamètre des arbres.....	132
CHAPITRE IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	134
V.1. CONCLUSION.....	135
V.2. PERSPECTIVES.....	136
BIBLIOGRAPHIE	138
ANNEXES	157

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Diagramme ombrothermique de Yokadouma	8
Fig. 2. Mise en place de la structure arborescente.	12
Fig. 3. Section transversale d'un tronc de feuillus	13
Fig. 4. Ultrastructure de la zone	14
Fig. 5. Zone cambiale de feuillus et terminologie des tissus en formation du bois.	15
Fig. 6. Trois directions et les trois plans ligneux de références	23
Fig. 7. Relation causale entre les intrants environnementaux, l'état de l'eau dans l'arbre et ses déterminants intrinsèques et le développement saisonnier dans les arbres des forêts tropicales.....	29
Fig. 8. Site d'étude et diagramme ombrothermique.	33
Fig. 9. <i>E. cylindricum</i>	38
Fig. 10. <i>E. suaveolens</i>	40
Fig. 11. <i>M. excelsa</i>	41
Fig. 12. <i>T. scleroxylon</i>	42
Fig.13. Paramètres dendrométriques et coordonnées "GPS" des arbres	48
Fig. 14. Rondelles de bois dans l'AAC 1-3	50
Fig. 15. Marquage des cernes sur <i>E. cylindricum</i>	53
Fig. 16. Numérisation des transects de cernes	56
Fig. 17. Traitement des transects avec "Fiji" lors de la 1 ^{ère} phase	59
Fig. 18. Traitement des transects des cernes avec "Fiji" lors de la 1 ^{ère} phase.....	60
Fig. 19. Collage/jonction des transects avec Mosaic J lors de la 2 ^{ième} phase.....	63
Fig. 20. Caractérisation des coupes de la 1 ^{ière} phase	65
Fig. 21. Microtome "Microm HM440E"	66
Fig. 22. Montage et coloration des coupes.	67
Fig. 23. Images des coupes sur Cell^B.....	68
Fig. 24. Mesure de cernes avec Image J.	73
Fig. 25. Conversion des transects marqués des cernes de la 2 ^{ième} phase avec "Densiometry Toolbox"	67
Fig. 26. Vérification du marquage des transects de la 2 ^{ième} phase avec le DHXCT	69
Fig. 27. "Core comparaison" des séries de largeur de cernes d' <i>E. cylindricum</i> de la 2 ^{ième} phase.	70
Fig. 28. Préparation du bois pour les test de densité.	75

Fig. 29. Tests de densité	76
Fig. 30. Profils macroscopiques des rondelles avec les cernes marqués (flèches blanches) du séjour 1	82
Fig. 31a. Coupe de la section transversale de la rondelle de bois a1. de <i>E. cylindricum</i> et a2. <i>M. altissima</i>	84
Fig. 32a. Coupe de la section transversale de la rondelle de bois a1. <i>M. exselca</i> et a2. <i>T. scleroxylon</i>	85
Fig. 33a. Coupe de la section transversale de la rondelle de bois de <i>E. cylindricum</i>	90
Fig. 34b. Coupe de la section transversale de la rondelle de bois de <i>E. suaveolens</i>	91
Fig. 35c. Coupe de la section transversale de rondelle de bois de <i>T. scleroxylon</i>	92
Fig. 36. Trajectoires de croissance en fonction de la durée de vie pour les quatre espèces.	96
Fig. 37. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>E. suaveolens</i>	101
Fig. 38. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>E. suaveolens</i>	102
Fig. 39. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	103
Fig. 40. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	104
Fig. 41. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	105
Fig. 42. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	106
Fig. 43. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	107
Fig. 44. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	108
Fig. 45. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	109
Fig. 46. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	110
Fig. 47. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	111

Fig. 48. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	112
Fig. 49. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	113
Fig. 50. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	114
Fig. 51. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	115
Fig. 52. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	116
Fig. 53. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	117
Fig. 54. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	118
Fig. 55. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	119
Fig. 56. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	120
Fig. 57. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	121
Fig. 58. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	122
Fig. 59. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	123
Fig. 60. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	124
Fig. 61. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	125
Fig. 62. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	126
Fig. 63. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	127
Fig. 64. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	128

Fig. 65. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de <i>T. scleroxylon</i>	129
Fig. 66. Trajectoires de croissance en fonction de la durée de vie pour les trois espèces	110
Fig. 67. Moyenne de la surface terrière en fonction de l'âge des arbres pour les trois espèces	111
Fig. 68. Variation radiale de la densité du bois mesuré à humidité 8 % tout au long de la distance d'un rayon/transect pour les neuf espèces	116
Fig. 69. Courbes/Equations de régressions linéaires pour les trois espèces	119
Fig. 70. Résidus des courbes de régressions linéaires pour les trois espèces	120

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Liste des grands et moyens mammifères recensés dans la concession 1070 -----	9
Tableau II. Liste des animaux identifiés dans la concession 1058 -----	9
Tableau III. Caractéristiques des espèces retenues-----	35
Tableau IV. Arbres échantillonnés par espèces, dans les chantiers d'abattages de l'AAC 3-347	
Tableau V. Arbres échantillonnés par espèces dans l'AAC 1-3. -----	48
Tableau VI. Nombre de rondelles de bois de la 1 ^{ère} phase -----	52
Tableau VII. Nombre de rondelles de la 2 ^{ème} phase -----	54
Tableau VIII. Caractéristiques des limites des cernes des quatre des espèces du séjour 1 ----	69
Tableau IX. Caractéristiques des limites des cernes des trois espèces du séjour 2 -----	70
Tableau X. Aspects macroscopiques des rondelles de bois des espèces du séjour 1 -----	80
Tableau XI. Informations des cernes de croissance de <i>E. cylindricum</i> -----	86
Tableau XII. Informations des cernes de croissance de <i>E. suaveolens</i> -----	87
Tableau XIII. Informations des cernes de croissance de <i>T. scleroxylon</i> -----	88
Tableau XIV. Fréquence des principales anomalies d'analyses des cernes des trois espèces- 93	
Tableau XV. Rondelles par arbres/espèces et transects pour l'estimation de cernes/et de l'âge cambiale et de la durée de croissance. -----	94
Tableau XVI. Comparaison des coefficients de coïncidence des séries de largeurs de <i>E. suaveolens</i> -----	98
Tableau XVII. Comparaison des coefficients de coïncidence des séries de largeurs de <i>E. cylindricum</i> -----	98
Tableau XVIII. Comparaison des coefficients de coïncidence des séries de largeurs de <i>T. scleroxylon</i> -----	98
Tableau XIX. Rondelles par arbres/espèces et transects pour l'estimation de cernes/et de l'âge cambiale, de la durée de croissance et des accroissements radiaux annuels -----	106
Tableau XX. Arbres et transects/espèces pour l'estimation de l'accroissement diamétrique annuel -----	108
Tableau XXI. Arbres et transects/espèces pour l'estimation de l'accroissement diamétrique annuel et les écarts-types ; âge et intervalle d'âge au DME ; surface terrière ; et âge biologique de rotation-----	109
Tableau XXII. Phénologie foliaire, tempérament, statistiques descriptives et résultats des analyses de variances de la localisation radiale et de la densité spécifique du bois des neuf espèces-----	114

Tableau XXIII. Densité spécifique du bois des espèces forestières et celles des valeurs de DS
de la base de la littérature-----115

Tableau XXIV. Analyse statistique des paramètres dendrométriques des trois espèces. -----117

LISTE DES ABREVIATIONS

AAC	: Assiette Annuelle de Coupe
AAM	: Accroissement Annuel Moyen
VPA-FLEGT	: “Voluntary Partnership Agreements-Forest Law Enforcement Governance and Trade”
BA	: Biomasse aérienne
CFPDB	: Centre de Formation Professionnel Don Bosco
C2D-PSFE2	: Contrat de Désendettement et de Développement - Programme Sectoriel Forêt Environnement 2 “Projet d’Aménagement et Suivi du Forêts du Cameroun”
DFP	: Domaine Forestier Permanent
DGB	: Diamètre Gros Bout
DHP	: Diamètre à Hauteur de Poitrine
DME	: Diamètre Minimum d’exploitabilité
DPB	: Diamètre Petit Bout
DS	: Densité Spécifique
FSC	: “Forest Stewardship Council”
GDC	: Groupe Decolvenaere Cameroun
GDF	: Gestion Durable des Forêts
GLK	: “Gleichläufigkeit” ou “coefficient of coincidence”
GWDD	: “Global Wood Density Database”
HPBi	: Hauteur à la Première Branche inexploitable
HT	: Hauteur Totale
IAWA	: “International Association of Wood Anatomists”
MINFOF	: Ministère des Forêts et de la Faune
MRAC	: Musée Royal d’Afrique Centrale (Tervuren-Belgique)
PA	: Plan d’Aménagement
PFNL	: Produit Forestier Non Ligneux
PPs	: Parcelles Permanentes
SFIL	: Société Forestière et Industrielle de la Lekoundjié/Lokoundjé
TIAMA	: Traitement des Inventaires Appliqué à la Modélisation (Logiciel)
Tw n°	: “Tervuren Wood number”
UCP	: Unité de Croissance Primaire
UFA	: Unité Forestière d’Aménagement
UFE	: Unité Forestière d’Exploitation

RÉSUMÉ

Le bassin du Congo est un point chaud des enjeux sur la conservation de la biodiversité floristique et faunique. La gestion durable de ces ressources forestières dépend de l'utilisation des données qualitatives et quantitatives, disponibles et accessibles. Cependant, ces outils font encore défaut en Afrique centrale. C'est le cas de la connaissance de l'âge et des taux d'accroissement des arbres, de la hauteur d'un arbre sur pied et de la densité du bois. Afin d'enrichir les connaissances sur ces paramètres, une étude a été menée dans les UFAs 10 025 (août 2013) et 10 052 (septembre-novembre 2015) de la SFIL-GDC à Ndeng. Elle visait la connaissance de la biologie et de la technologie du bois de quelques espèces exploitées au Cameroun. Spécifiquement, il s'agissait: (1) d'identifier les limites des cernes de croissance ainsi que leurs anomalies d'identification; (2) d'estimer les âges des arbres; (3) d'obtenir leurs accroissements annuels; (4) déterminer la variation radiale de la densité du bois et (5) d'établir la corrélation hauteur-diamètre des arbres. La méthode destructive a été utilisée sur 9 espèces (1 individu/espèce) de l'AAC 3-3 de l'UFA 10 025 et trois espèces de l'AAC 1-3 de l'UFA 10 052. Dans l'AAC 3-3, avant l'abattage d'un arbre, le DHP a été pris. Une fois l'arbre abattu, le DGB a été mesuré et quelques rondelles ont été prélevées à la base de la grume, soit 20 rondelles: *Afzelia bipindensis* (2); *Cylicodiscus gabunensis* (2); *Entandrophragma cylindricum* (2); *Entandrophragma utile* (1); *Erythrophleum suaveolens* (2); *Mansonia altissima* (2); *Milicia excelsa* (3); *Pterocarpus soyauxii* (3) et *Triplochiton scleroxylon* (3). Ces rondelles ont été traitées et analysées afin de mettre en exergue l'existence ou non des cernes et de déterminer, à l'aide du principe de la poussée d'Archimède, la variation radiale de la densité du bois. De même, dans l'AAC 1-3 avant l'abattage d'un arbre, le DHP a été mesuré. Après l'abattage, la hauteur totale de l'arbre a été mesurée, puis les DGBs, DPBs et H de la grume sur 227 arbres: *E. cylindricum* (45); *E. suaveolens* (100) et *T. scleroxylon* (82). 41 rondelles ont été prélevées (1 rondelle/arbre): *E. cylindricum* (11); *E. suaveolens* (15) et *T. scleroxylon* (15). Elles ont été usinées et poncées. De plus, les cernes ont été observés/marqués, des coupes anatomiques ont été réalisées et traitées, puis classées selon leurs limites. Les limites de cernes ont été mesurées à une précision de 0,01 mm par Image J/SOP DHXCT, 2013/2015, correspondant aux années de formation respectives des derniers cernes. Sur la base des séries de largeur de cerne obtenues par transect, les accroissements diamétriques et les surfaces terrières par cerne ont été calculés. Ainsi, les cernes de croissance de *T. scleroxylon*, *E. cylindricum* et *E. suaveolens* sont nettement visibles. Ceux de *T. scleroxylon* sont plus larges ($5,08 \pm 1,42$ mm) que ceux d'*E. suaveolens* ($3,51 \pm 0,81$ mm) et d'*E. cylindricum* ($2,97 \pm 0,24$ mm). Les anomalies en termes de cernes manquants, de faux cernes et de cernes discontinus représentent respectivement 13,56

%, 10,88 % et 6,48 % chez *E.cylindricum*, *E.suaveolens* et *T.scleroxylon*. L'âge cambial moyen pour atteindre les DMEs chez *E.cylindricum*, *E.suaveolens* et *T. scleroxylon* est respectivement de 155, 69 et 68 ans et l'âge biologique de rotation de 112, 133 et 79 ans. L'accroissement diamétrique moyen annuel est respectivement de : $0,63 \pm 0,32$; $0,73 \pm 0,29$ et $1,06 \pm 0,26$ cm.an⁻¹ et celui de la surface terrière de: $2,10^{-4} \pm 0,0002$; $2,10^{-4} \pm 0,0003$ et $3,10^{-4} \pm 0,0003$ m².an⁻¹. La variation radiale de la densité du bois (écorce-moelle) est de: *A. bipendensis* (0,65-0,75) ; *C.gabunensis* (0,65-0,93) ; *E.cylindricum* (0,64-0,74) ; *E.utile* (0,51-0,58); *E.suaveolens* (0,78-0,84); *M.altissima* (0,61-0,65); *M.excelsa* (0,45-0,73); *P. soyauxii* (0,59-0,69) et *T.scleroxylon* (0,37-0,6 g.cm⁻³). Les moyennes de densité sont respectivement de: $0,70 \pm 0,05$; $0,79 \pm 0,14$; $0,69 \pm 0,05$; $0,55 \pm 0,03$; $0,81 \pm 0,03$; $0,63 \pm 0,02$; $0,65 \pm 0,08$; $0,64 \pm 0,05$ et $0,44 \pm 0,07$ g.cm⁻³. En revanche, comparées à celles de GWDD, ces densités sont soit inférieures (*A.bipendensis* et *P.soyauxii*), soit égales (*C.gabunensis*) soit supérieures (*E.cylindricum*; *E.utile*; *E.suaveolens*; *M.altissima*; *M.excelsa* et *T.scleroxylon*). La relation diamètre-hauteur est une corrélation linéaire dont l'équation et le coefficient de détermination sont : HT (m) = $17,79 + 20,18 * DGB$ (m) et $R^2 = 0,47$ chez *E. cylindricum* ; HT (m) = $26,08 + 9,74 * DGB$ (m) et $R^2 = 0,12$ chez *E. suaveolens* et HT (m) = $12,21 + 27,40 * DGB$ (m) et $R^2 = 0,25$ chez *T. scleroxylon*. Au bout du compte, ces modèles sont vérifiés à plus de 90 %, les 10 % restants étant dus à des effets autres que les variables explicatives (H et D) qui varient simultanément. Cette étude confirme le potentiel de l'analyse des cernes, des données détaillées sur la densité du bois et des corrélations hauteurs-diamètres en fonction de la planification de la gestion durable des forêts et de l'estimation des stocks de carbone. Ces méthodes sont complémentaires aux méthodes classiques d'inventaires forestiers et peuvent être appliquées sur un grand nombre d'espèces ligneuses. La diversité des variables utilisées dans les inventaires (hauteur, mortalité, rajeunissement) est complétée par les cernes de croissance qui permettent de retourner quelques siècles en arrière et également d'avoir une meilleure compréhension de l'évolution de la production de bois et du stockage de carbone. Un échantillonnage incluant de très grands arbres est recommandé pour développer des chronologies régionales sur les cernes de croissance lors des futures études dendrochronologiques et dendroclimatiques ainsi que leurs comparaisons avec la croissance d'autres espèces tropicales. Les cernes peuvent être détectés plus rapidement avec un grand nombre d'échantillons par espèce, ce qui permet d'avoir des estimations plus fiables pour les paramètres de croissance et de former une meilleure base pour le « bootstrapping ».

Mots clés : accroissements annuels, âge cambial, anatomie du bois, cerne de croissance, densité du bois, relation hauteur-diamètre.

ABSTRACT

Congo Basin is a focal point for conservation of biodiversity (flora and fauna). Sustainable management of these forest resources depends on the use of available and accessible qualitative and quantitative data. However, these tools are still lacking in Central Africa. This is the case with knowledge of the exact age, the rates of tree increments, the height of a standing tree, and the density of wood. To enrich knowledge on these parameters, a study was conducted in FMUs 10 025 (August 2013) and 10 052 (September-November 2015) of SFIL-GDC. It aimed at gaining knowledge of the biology and wood technology of some species exploited in Cameroon. Specifically, this involved: (1) studying growth rings (identifying growth ring boundaries and their identification anomalies; estimating tree ages and annual tree increments; (2) determining radial variation in wood density; and (3) establishing height-diameter correlation of trees. Legal destructive method was used on 9 species (1 individual/species) of Annual Cutting Block (ACB) 3-3 of FMU 10.025 and three species of ACB 1-3 of FMU 10.052. In ACB 3–3, before a tree was felled, DBH was taken. Once the tree was felled, big end diameters was measured, and some stem discs were taken from the base of log: *Afzelia bipindensis* (2); *Cylicodiscus gabunensis* (2); *Entandrophragma cylindricum* (2); *Entandrophragma utile* (1); *Erythrophleum suaveolens* (2); *Mansonia altissima* (2); *Milicia excelsa* (3); *Pterocarpus soyauxii* (3) and *Triplochiton scleroxylon* (3). These 20 stem discs were processed and analyzed to highlight the existence or not of tree rings and to determine radial variation of wood density using Archimedes principle. In ACB 1-3, before felling a tree, DBH was measured. After felling, total height (TH) of tree was measured, as well big, small end diameters (BED and SED), and height of the logs on 227 trees: *E. cylindricum* (45), *E. suaveolens* (100), and *T. scleroxylon* (82). 41 stem discs were collected (1 stem discs per tree): *E. cylindricum* (11); *E. suaveolens* (15); and *T. scleroxylon* (15). These 41 stem discs have been machined and sanded. Tree rings were observed/marked, and anatomical sections were performed and treated, then classified according to their limits. Ring boundaries were measured to an accuracy of 0.01 mm by Image J/SOP DHXCT, 2013/2015, corresponding to the respective years of formation of the last tree rings. On the basis of growth ring width series obtained by transect, the diametric increments and the basal surfaces per ring were calculated. Growth rings of *T. scleroxylon*, *E. cylindricum*, and *E. suaveolens* are clearly visible. Those of *T. scleroxylon* are wider (5.08 ± 1.42 mm) than those of *E. suaveolens* (3.51 ± 0.81 mm) and *E. cylindricum* (2.97 ± 0.24 mm). Anomalies in terms of missing rings, false rings, and discontinuous rings represent, respectively 13.56 %, 10.88 % and 6.48 % in *E. cylindricum*, *E. suaveolens* and *T. scleroxylon*. Mean cambial age to reach the minimum logging diameters (MLDs) in *E. cylindricum*, *E. suaveolens* and *T.*

scleroxylon is 155, 69 and 68 years respectively, and the biological rotation age (BRA) is 112, 133 and 79 years. Average annual diameter increase is 0.63 ± 0.32 , 0.73 ± 0.29 and 1.06 ± 0.26 cm.yr⁻¹ respectively, and that of the basal area increments is $2.10^{-4} \pm 0.0002$, $2.10^{-4} \pm 0.0003$ and $3.10^{-4} \pm 0.0003$ m².yr⁻¹ respectively. The radial variation in wood density (bark to pith) is *A. bipendensis* (0.65 - 0.75), *C. gabunensis* (0.65 - 0.93), *E. cylindricum* (0.64 - 0.74), *E. utile* (0.51 - 0.58), *E. suaveolens* (0.78 - 0.84), *M. altissima* (0.61 - 0.65), *M. excelsa* (0.45 - 0.73), *P. soyauxii* (0.59 - 0.69) and *T. scleroxylon* (0.37 - 0.6 g.cm⁻³). Density averages are respectively: 0.70 ± 0.05 ; 0.79 ± 0.14 ; 0.69 ± 0.05 ; 0.55 ± 0.03 ; 0.81 ± 0.03 ; 0.63 ± 0.02 ; 0.65 ± 0.08 ; 0.64 ± 0.05 and 0.44 ± 0.07 g.cm⁻³. Compared to those of GWDD, these densities are either lower (*A. bipendensis* and *P. soyauxii*), equal (*C. gabunensis*) or higher (*E. cylindricum*; *E. utilite*; *E. suaveolens*; *M. altissima*; *M. excelsa* and *T. scleroxylon*). The height-diameter relationship is a linear correlation whose equation and coefficient of determination are: TH (m) = $17.79 + 20.18 \cdot \text{BED (m)}$ with $R^2 = 0.47$ in *E. cylindricum*; TH (m) = $26.08 + 9.74 \cdot \text{BED (m)}$ with $R^2 = 0.12$ in *E. suaveolens* and TH (m) = $12.21 + 27.40 \cdot \text{BED (m)}$ with $R^2 = 0.25$ in *T. scleroxylon*. These models are verified by more than 90 %, the remaining 10% being due to effects other than the explanatory variables (H and D) which vary simultaneously. This work confirms the huge potential of tree-ring analysis, detailed wood density and height-diameter correlation data for long-term planning of sustainable forest management and carbon stocks. Both methods can be used complementary to inventories, combining the diversity of inventory variables (height, recruitment, mortality) with tree rings that extend decades to centuries into time. A larger sample size, including older trees, is recommended to lengthen regional tree-ring chronologies for future dendroclimatological and dendroclimatical studies. It would also enable a better detection of sampling biases, more reliable estimates of the culmination of growth variables and serve as a solid base for bootstrapping. Apart from the tree level and the inter-annual level, the obtained high-resolution wood density profiles offer also possibilities to study intra-annual density variations and their possible relation with climate and wood anatomy.

Key words: annual growth increment, cambial age, height-diameter relation, tree-rings, wood anatomy, wood density.

INTRODUCTION

Les forêts tropicales abritent une très grande biodiversité et fournissent par la même occasion de nombreux produits tels que le bois d'œuvre et les produits forestiers non ligneux (PFNL) et constituent un élément important du cycle de carbone terrestre. Elles couvrent seulement 7 % de la surface de la Terre et détiennent 25 % des puits de carbone terrestre (Pan *et al.*, 2011). Leurs rôles sont fondamentaux et multiples. En plus d'être le réservoir de la biodiversité, fournisseur de biens et services (bois d'œuvre, PFNL et produit autre que le bois), elles participent aussi au stockage de carbone et à la régulation du climat et du régime hydrique (Blaser *et al.*, 2011). Leur connaissance et leur fonctionnement sont donc primordiaux, pour les préserver dans un contexte de changements globaux rapides et les gérer du mieux au profit des populations concernées. Ces forêts représentent un tiers de la productivité primaire terrestre nette (Bonan, 2008). En plus, cette biodiversité se caractérise par une diversité d'espèces remarquables, et celle-ci est étroitement liée au climat local et mondial (Phillips *et al.*, 1998 ; Clark, 2007 ; Lewis *et al.*, 2006).

Pour Achard *et al.* (2002), le traitement et le stockage du carbone ainsi que sa perte ou son absorption nette par ces forêts tropicales ont des répercussions importantes sur le cycle global du carbone. La compréhension de ces changements est donc cruciale pour prédire les réponses de ces forêts aux changements climatiques (Wright, 2005). Les forêts peuvent accélérer les changements climatiques en agissant comme source de CO₂ ou les atténuer en agissant comme réserve en séquestrant le carbone. La réduction des surfaces forestières tropicales a un impact considérable sur la quantité de CO₂ stockée dans l'atmosphère (Houghton, 1985). Car, ces forêts sont une source importante de production de l'O₂ et un puit stockant du CO₂. En général, le CO₂ est l'un des gaz à effet de serre qui influence les changements climatiques. L'estimation de la biomasse aérienne (BA) ou épigée est donc nécessaire pour déterminer les quantités de carbone stockées dans ces écosystèmes (Ketterings *et al.*, 2001 ; Chave *et al.*, 2004). Cette BA est généralement estimée en utilisant des équations allométriques, et les variables impliquées dans ces équations sont le diamètre à $\pm 1,30$ m, la hauteur totale et la densité du bois ou la densité spécifique du bois. D'après Chave *et al.* (2005 ; 2014) ce calcul est utilisé dans la majorité des études utilisant des modèles allométriques.

La hauteur d'un arbre est l'une des variables de base de la dendrométrie et de la foresterie. Cependant, plusieurs autres variables sont indispensables à la prise de décision sur

la gestion des forêts. Telles que le défilement des arbres et leur volume, la hauteur dominante du peuplement et l'indice de qualité des stations, qui sont dérivés de la hauteur des arbres, et la projection du développement du peuplement dans le temps reposent sur des fonctions hauteur-diamètre précises (Baumeister, 2017). Mesurer la hauteur de chaque arbre est une tâche fastidieuse (Fortin *et al.*, 2009 ; Maiti *et al.*, 2016). Cet exercice est encore plus difficile dans les forêts tropicales naturelles et complexes telles que celles du bassin du Congo où des arbres de divers âges, d'espèces, de tailles, de classes, de vigueur, de cimes et de niveaux de tolérance à l'ombre coexistent dans des conditions de plantation uniformes (Temesgen *et al.*, 2014). Les mesures de hauteurs prennent plus de temps que celles du diamètre plus accessible et les obstructions visuelles. Les formes de cimes arrondies, les arbres penchés et les pentes du terrain représentent des sources d'erreur supplémentaires pour les mesures de hauteur (Mugasha *et al.*, 2013).

La densité du bois est l'une des variables les plus importantes de la foresterie et des sciences du bois. Elle est en effet essentielle à la compréhension des structures et des fonctions des arbres ainsi que pertinente pour les propriétés du bois et la teneur en énergie du matériau de ce dernier. La densité du bois est calculée en divisant la masse sèche d'un échantillon par la masse d'un volume d'eau égale au volume de l'échantillon à une teneur en humidité spécifique (Anonyme, 2011a). Selon Panshin et de Zeeuw (1980) ; Chave *et al.* (2009). C'est un prédicteur important des propriétés mécaniques du bois, c'est aussi un trait qui se distingue des traits chimiques et anatomiques (Lachenbruch et McCulloh, 2014). La source clé d'information sur l'adaptation des arbres est la variété dans l'anatomie du bois (Beeckman, 2016 ; Tarelkin *et al.*, 2016).

La structure anatomique du bois, qui comprend les caractéristiques des vaisseaux et des fibres, peut être utilisée pour décrire les fluctuations de densité à l'intérieur d'un arbre (Roque et Filho, 2007). Chez les feuillus, la quantité de divers types de cellules et leurs modèles spatiaux déterminent cette variation de la densité du bois. Ces types de cellules comprennent le parenchyme axial, les vaisseaux, les fibres et les rayons (Panshin et de Zeeuw, 1970). De Mil *et al.* (2018) ont montré que les vaisseaux et le parenchyme sont reliés négativement à la densité du bois et aux taux d'accroissement de l'arbre pendant l'ontogenèse. Les fibres aux parois plus épaisses et à la lumina aplatie augmentent la densité du bois.

DRYAD est une base de données mondiale à partir de laquelle les valeurs moyennes de densité du bois au niveau de l'espèce ou du genre dérivent (Zanne *et al.*, 2009). L'utilisation de

ces bases de données (Chave *et al.*, 2009 ; Zanne *et al.*, 2009) pourrait entraîner une surestimation de la densité du bois pour des communautés d'espèces d'environ 16% selon Ramananantoandro *et al.* (2015). Zanne *et al.* (2009) ; Chave *et al.* (2009) quant à eux estiment que la densité des bois tropicaux varie de 0,1 à 1,5 g.cm⁻³. Dans les régions tropicales de la planète, cette variété a été bien conservée (Détienne et Chanson, 1996 ; Turner, 2001). Néanmoins, la majorité des espèces ont des valeurs assez proches de la moyenne (Détienne et Chanson, op. cit.). Chave *et al.* (2006) et Maniatis *et al.* (2011) ont démontré que les différences de densité du bois sont plus grandes entre espèces qu'au sein des mêmes espèces.

Avec des différences entre les espèces tolérantes à l'ombre et celles exigeantes en lumière (King *et al.*, 2005 ; Chave *et al.*, 2009). On pense que les espèces exigeantes en lumière ont besoin d'investir dans du bois plus dense pour survivre dans une forêt mature lorsqu'il y a une plus grande concurrence pour la lumière, car elles sont si sensibles à l'exposition à la lumière (Nock *et al.*, 2009 ; Wiemann et Williamson, 1988). En général, la croissance rapide des espèces exigeantes en lumière aux stades juvéniles est souvent associée à la production d'un bois tendre de faible densité (Woodcock et Shier, 2002 ; Nock *et al.*, 2009). À contrario, les espèces tolérantes à l'ombre produisent du bois dense et croissent très lentement (Woodcock et Shier, op. cit.).

Actuellement, les forêts tropicales subissent la déforestation, la conversion à d'autres utilisations des terres et l'exploitation forestière (Lambin *et al.*, 2003). Leur taux de déforestation est élevé (Hansen *et al.*, 2013) et a affecté environ 50 % de toutes ces forêts tropicales (Asner *et al.*, 2009).

Plus spécifiquement, les forêts d'Afrique Centrale ont été évaluées à plus de 200 millions d'hectares et sont le second bloc continu de forêts tropicales du monde après l'Amazonie (Ruiz Pérez *et al.*, 2005 ; Laporte *et al.*, 2007). La superficie estimée de ces forêts pour le Cameroun est de 16,9 millions d'ha (De Wasseige *et al.*, 2009), avec des taux de déforestation et de dégradation respectivement estimées à 0,14 % et 0,01 % (Duveiller *et al.*, 2008). Après le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, les pays du bassin du Congo ont entrepris les premières révisions de leurs législations forestières de au 1994 au Cameroun à 2000 aux Congo, Gabon, RCA et RCA (Anonyme, 1994 ; 2000 ; 2001 ; 2002a ; 2002b 2008). Les révisions intermédiaires de 2010 au Congo (Anonyme, 2010a) et les législations actuelles de 2020 au Congo et de 2024 au Cameroun (Anonyme, 2020a ; 2024). Ces codes forestiers ont

généralisé l'utilisation des plans d'aménagement (PA) pour la gestion durable de ces forêts (Karsenty, 2006).

Un peu plus de 44 millions d'hectares des forêts d'Afrique Centrale ont été dédiées à l'exploitation forestière sélective (De Wasseige *et al.*, 2009). Juste quelques espèces sont ciblées pour des prélèvements relativement faibles en comparaison aux autres régions tropicales (Amazonie et bassin de l'Asie du Sud-Est). En général moins d'un arbre est prélevé par hectare à chaque rotation, durant les 20 à 30 ans (Ruiz Pérez *et al.*, 2005). De plus, la dynamique forestière est principalement abordée par des méthodes de suivi qui concernent la composition spécifique du peuplement, la répartition en classe de diamètre ou encore la surface terrière. Ces méthodes de suivi de la dynamique forestière sont lourdes à mettre en place, et les résultats obtenus sont toujours inféodés aux placettes permanentes (PPs) ce qui fait en sorte qu'il est souvent difficile de les implémenter sur des sites non suivis. Pourtant les dispositifs de PPs sont récents et les données disponibles couvrent généralement une courte période (~ 30 ans).

Par ailleurs, la précision des relevés dendrométriques (méthode de mesure, temps entre deux mesures) ne permet pas de comprendre précisément les rythmes de croissance secondaire des arbres. Une maîtrise suffisante de la dynamique forestière, notamment en fonction des prélèvements de bois qui y sont effectués est donc nécessaire. Cette dynamique peut être suivie par l'étude de l'histoire des arbres qui constituent la forêt (croissance, mortalité, régénération...) et ceci au travers des traces laissées durant la croissance primaire et secondaire.

De plus, très peu d'études ont examiné les relations hauteur-diamètre dans les forêts tropicales naturelles multispécifiques (Mugasha *et al.*, 2013 ; Temesgen *et al.*, 2014). Les bases de la modélisation de la relation hauteur-diamètre dans les forêts du Bassin du Congo sont posées ici. Dans ces forêts tropicales naturelles où l'exploitation forestière ne prélève que quelques tiges de différentes espèces à l'hectare. Ici, d'une part, est examiné le type de modèle qui s'applique à la relation hauteur-diamètre pour chaque espèce, d'autre part l'influence du paysage sur le modèle applicable à *T. scleroxylon*, espèce à très haute valeur commerciale au Cameroun (Gorel, 2012 ; Oumar *et al.*, 2021).

Par la suite, la relation entre la densité et la croissance peut en fait réduire la durée de vie d'un arbre (Wiemann et Williamson, 1988). Une plus grande résistance aux dommages physiques et aux infections dangereuses est induite par des valeurs élevées de densité du bois (Putz *et al.*, 1983 ; King *et al.*, 2006 ; Chao *et al.*, 2008). Avec le profil vertical d'un arbre (Henry *et al.*, 2010; Wassenberg *et al.*, 2014) et le profil radial, la densité du bois peut également

révéler des changements à l'intérieur de l'arbre (Henry *et al.*, 2010 ; Osazuwa-Peters *et al.*, 2014 ; Plourde *et al.*, 2015; Lehnebach *et al.*, 2018). À l'intérieur de certains arbres, la densité du bois peut aussi varier radialement de la moelle à l'écorce (Wiemann et Williamson, 1988 ; 1989 ; Henry *et al.*, op. cit. ; Hietz *et al.*, 2013). Ces variations de densité sur le profil moelle-écorce sont donc un bon indicateur des variations de l'anatomie des fibres et de la soudaineté du changement de la structure anatomique du bois. Enfin, l'analyse des cernes de croissance fournit des données spécifiques de croissance à la durée de vie en fonction des espèces, qui peuvent être utilisées pour l'amélioration des projections de la quantité de bois disponible lors des prochains cycles de coupes. La connaissance de l'âge et les taux d'accroissement des arbres tropicaux est primordiale pour comprendre la dynamique des peuplements forestiers (Vetter et Botosso, 1989 ; Stahle, 1999 ; Brienen et Zuidema, 2006a) et mettre en place une gestion raisonnée et durable des ressources en bois des forêts tropicales humides (Stahle *et al.*, 1999 ; Worbes *et al.*, 2003 ; Schöngart, 2008).

Toutefois, concernant la croissance secondaire, le manque de visibilité des cernes et la difficulté de leur associer une notion temporelle met un frein au développement de la dendrochronologie tropicale plus spécifiquement au Cameroun. De plus la biologie, la phénologie, l'anatomie du bois et la densitométrie des arbres tropicaux restent encore largement méconnues de nos jours.

A l'aide de ces différentes approches, ces travaux cherchent à répondre aux questions suivantes :

- peut-on identifier les limites de cernes macro- et microscopiquement, ainsi que leurs anomalies ?
- peut-on déterminer l'âge des arbres et la production de bois à l'aide des cernes ?
- existe-t-il une variation radiale de la densité du bois ?
- peut-on modéliser la relation hauteur totale-diamètre des arbres dans ces forêts ?

Dans ce contexte, l'objectif général de cette étude est d'étudier la biologie et la technologie du bois de quelques espèces forestières exploitées au Cameroun.

De manière spécifique, il s'agit d' :

- identifier sur le plan macro-/ microscopique les limites des cernes, ainsi que leurs anomalies ;
- estimer les âges des arbres et leurs accroissements annuels ;
- déterminer la variation radiale de la densité du bois ;
- établir la relation hauteur totale et diamètre des arbres.

CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS

I.1. REVUE DE LITTÉRATURE

I.1.1. Zone d'étude

I.1.1.1. Situation géographique et historique

La concession forestière 1070 est composée de la seule Unité Forestière d'Aménagement (UFA) 10 025 se localise dans la Région de l'Est, Département de Boumba et Ngoko, et dans l'Arrondissement de Gari-Gombo. Elle a été partiellement exploitée sous trois licences différentes entre 1990-1997. Après ces licences, elle a aussi été exploitée avant la convention provisoire de la SFIL-GDC pendant cette période quelques Assiettes Annuelles de Coupes (AACs) ont été exploitées. Le point de repère R se situe au niveau du point dénommé Ndjwé entre les localités de Landjwé et Mvamekolo sur l'axe Yokadouma-Nwapak (Anonyme, 2009).

La concession 1058 comprend juste l'UFA 10 052, elle se trouve dans la Région de l'Est, Département de la Kadey et Arrondissement de Ndélé est exploitée suivant les clauses du cahier de charge N°0728/CC/MINFOF/SG/DF du 13 août 2010. Cette concession est repérable sur les feuillets cartographiques au 1/200 000^{ème} ISH Batouri NB-33-III et ISH Médoum NA-33-XXI. et a été partiellement/totalement exploitée précédemment entre 1969-2005, par la Société Tropicale d'Exploitation Forestière (SOTREF) selon la convention n°0833/CPE/MINEF/CAB du 04 octobre 2001. Pendant la convention provisoire quelques AACs ont été exploitées par la SFIL (Anonyme, 2012a).

I.1.1.2. Climat

Dans l'UFA 10 025, Les précipitations de la région varient d'une année à l'autre, pour une moyenne annuelle de 1 600 mm (± 100 mm). La température annuelle moyenne se situe autour de 24°C. Toutes fois dans le cadre de cette moyenne, les précipitations tendent à s'accroître de l'Est vers l'Ouest. A l'inverse, les températures moyennes mensuelles varient entre 23°C et 26°C et la température annuelle moyenne passant d'Est en Ouest varie de 25°C à 24°C. D'après Anonyme, (2009). Dans l'UFA 10 052, le mois le moins humide est janvier avec 16 mm de précipitations, le mois le plus pluvieux est novembre avec une moyenne de 235 mm de précipitations. En termes de température les mois les trois plus chauds de l'année sont respectivement décembre, janvier et février avec des moyennes de température mensuelle de 25 ; 25,11 et 26 °C. Le trois mois le plus pluvieux est octobre avec 235 mm de précipitation Les moyennes de température et de precipitation sont respectivement de 25,19 °C et 117 mm selon Anonyme (2012a) (Fig.1).

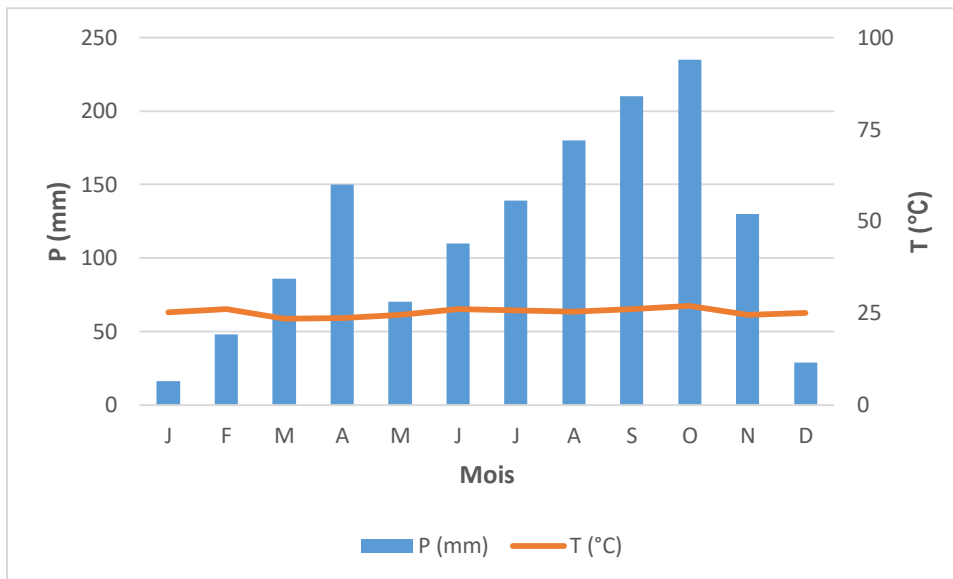


Fig. 1. Diagramme ombrothermique de Yokadouma (Anonyme, 2012a).

I.1.1.3. Hydrographie

La concession 1070 (UFA 10 025) est en plein dans le Bassin du Congo, ce qui induit la présence d'un vaste et dense réseau hydrographique en forme de maille. Ce réseau est formé principalement du bassin de la Ndjiwé et de multiples branches secondaires et tertiaires de la Kadey et de la Bangué : au Sud, le bassin versant de la Ndjiwé ; à l'Est le bassin versant de la Kadey et au Nord, le bassin versant de Bangué (Anonyme, 2009).

La concession 1058 (UFA 10 052) fait partie du bassin versant du Bassin du Congo, l'intérieur de ce massif peut être subdivisé en trois bassins versants caractéristiques des principaux cours d'eaux qui le drainent :

- à l'Est, le bassin versant de la Bangué dont l'exutoire se trouve sur la confluence de la Bangué et de la Kadey. Il draine tout le réseau hydrographique de l'Est de l'UFA dans le sens Sud-Nord ;
- au Sud-Est, le bassin versant de la Djoué qui draine les eaux dans le sens Nord-Ouest vers le Sud-Est ;
- au Nord, le bassin versant de la Dembe qui collecte toutes les eaux au nord de l'UFA et qui les draine dans la Kadey ;
- et les vallées qui sont fortement tronquées, impliquent la présence d'un grand réseau de marécages (Anonyme, 2012a).

I.1.1.4. Diversité faunique

L'UFA 10 025 possède un potentiel faunique de plus 18 espèces de petits, moyens et grands mammifères (tableau I.) (Anonyme, 2009).

Tableau I. Liste des grands et moyens mammifères recensés dans la concession 1070 (Anonyme, 2009)

Groupe	Nom scientifique	Nom commun
Primates	<i>Pan troglodytes</i> (Hominidae)	Chimpanzé
	<i>Gorilla gorilla gorilla</i> (Hominidae)	Gorille
	<i>Cercocebus agilis</i> (Cercopithecidae)	Cercocèbe agile
	<i>Cercopithecus nictitans</i> (Cercopithecidae)	Hocheur
	<i>Cercopithecus cephus</i> (Cercopithecidae)	Moustac
Rongeurs	<i>Artherurus africanus</i> (Hystricidae)	Arthérure african
	<i>Cricetomis emini</i> (Muridae)	Rat de forêt
Pholidotes	<i>Smutia gigantea</i> (Manidae)	Pangolin géant
	<i>Uromanis tetradactyla</i> (Manidae)	Pangolin à longue queue
Proboscideae	<i>Loxodonta cyclotis</i> (Elephantidae)	Eléphant de forêt
Arthiodactyles	<i>Potamochoerus porcus</i> (Suidae)	Potamochère
Tragulidae	<i>Hyemoschus ayauticus</i> (Tragulidae)	Chevrotain aquatique
Bovidae	<i>Tragelaphus spekei</i> (Bovidae)	Sitatunga
	<i>Philantomba monticola</i> (Bovidae)	Céphalophe bleu
	<i>Cephalophus silvycutor</i> (Bovidae)	Céphalophe à dos jaune
	<i>Cephalophus callipygus</i> (Bovidae)	Céphalophe de Peter's
	<i>Cephalophus dorsalis</i> (Bovidae)	Céphalophe bai
	<i>Neotragus batesi</i> (Bovidae)	Antiloppe de Bate's

L'inventaire faunique au sein de l'UFA 10 052 a permis de recenser 25 grands mammifères parmi lesquelles des espèces menacées, ainsi que des oiseaux et des reptiles. Ci-dessous est représenté la liste de quelques espèces de petits, moyens et grands mammifères identifiées (Tableau II.) (Anonyme, 2012a).

Tableau II. Liste des animaux identifiés dans la concession 1058 (Anonyme, 2012)

Groupe	Nom scientifique	Nom commun
Arthiodactyles	<i>Philantomba monticola</i> (Bovidae)	Céphalophe bleu
	<i>Cephalophus rufilatus</i> (Bovidae)	Céphalophe roux
	<i>Tragelaphus spekei</i> (Bovidae)	Sitatunga
	<i>Tragelaphus euryceros</i> (Bovidae)	Bongo
	<i>Cephalophus sylvicultor</i> (Bovidae)	Céphalophe à dos jaune

Groupe	Nom scientifique	Nom commun
	<i>Hyemoschus aquaticus</i> (Tragulidae)	Chevrotain aquatique
	<i>Syncerus caffer nanus</i> (Bovidae)	Buffle
Proboscidiens	<i>Loxodonta cyclotis</i> (Elephantidae)	Eléphant de forêt
Mustelidae	<i>Aonyx congica</i> (Mustelidae)	Loutre
Primates	<i>Colobus guereza</i> (Cercopithecidae)	Magistrat
	<i>Cercopithecus nictitans</i> (Cercopithecidae)	Hocheur
	<i>Cercocebus albigena</i> (Cercopithecidae)	Cercocèbe à joues grises
	<i>Cercocebus galeritus</i> (Cercopithecidae)	Cercocèbe agile
	<i>Cercopithecus neglectus</i> (Cercopithecidae)	Cercopithèque de brazza
	<i>Cercopithecus pogonias</i> (Cercopithecidae)	Pogonias
	<i>Cercopithecus cephus</i> (Cercopithecidae)	Moustac
	<i>Myopithecus talapoin</i> (Cercopithecidae)	Talapoin
	<i>Gorilla gorilla gorilla</i> (Hominidae)	Gorille
	<i>Pan troglodytes</i> (Hominidae)	Chimpanzé
Pholidotes	<i>Manis gigantea</i> (Manidae)	Pangolin géant
	<i>Manis tricuspis</i> ()	Pangolin commun

I.2.1. Définitions des concepts

I.2.1.1. Dendrochronologie

La dendrochronologie dérive des mots Grec : «dendro» qui signifie arbre ; « kronos » qui signifie le temps et « logos » qui signifie l'étude. Elle est une discipline scientifique qui utilise les informations contenues dans les cernes de croissance, et repose de ce fait sur les mesures de largeurs/épaisseurs des cernes de croissance et sur leur datation précise (Lebourgeois et Merian, 2012). Généralement, la dendrochronologie est basée sur l'analyse de la croissance radiale des arbres. En milieu tempéré et boréal, chaque année l'arbre produit un cerne de croissance. La largeur de ce cerne varie en fonction de nombreux facteurs, parmi lesquels c'est le climat qui prédomine.

I.2.1.2. Anatomie du bois

L'anatomie du bois est une discipline qui a pour objectif de décrire tant qualitativement que quantitativement, les différents tissus, cellules et structures qui composent le bois et d'étudier ses propriétés physiques, mécaniques et chimiques (Wagenführ, 1999 ; Jourez, 2011).

I.2.1.3. Densité du bois

La densité du bois est l'une des variables les plus importantes de la foresterie et des sciences du bois, car elle est essentielle à la compréhension des structures et des fonctions des arbres et est pertinente pour les propriétés du bois et la teneur en énergie du matériau bois.

I.2.1.4. Dendrométrie

La dendrométrie est la discipline de la botanique consacrée aux mesures concernant les arbres ou les peuplements d'arbres. C'est la science forestière qui traite de la mesure des caractères physiques quantifiables des arbres et/ou des peuplements pour aboutir à des modèles de production ligneuse (Jaeger *et al.*, 2016)

I.3.1. Datation du bois

I.3.1.1. Élaboration de l'arbre et croissance du bois

I.3.1.1.1. Structure arborescente

La croissance du bois résulte de la mise en place de la structure arborescente, depuis la naissance de l'arbre jusqu'à sa mort. Cette croissance résulte de l'activité de deux types de méristèmes (Fig. 2).

Les méristèmes dits primaires (apicaux) comprennent les bourgeons terminaux et les bourgeons latéraux qui mettent en place et assurent l'allongement des axes. Les bourgeons terminaux réalisent la croissance en longueur/hauteur de chaque axe, par son extrémité libre, en élaborant une nouvelle portion d'axe de longueur l , constituée de xylème et de phloème primaires (ainsi que la moelle et l'épiderme). La portion de tige mise en place au cours d'une période d'allongement ininterrompue est appelée unité de croissance primaire (UCP) (Hallé et Martin, 1968) de l'axe considéré. Les bourgeons latéraux donnent naissance à un nouvel axe d'un ordre supérieur à celui qui portait le bourgeon latéral. Ainsi le premier axe formé est l'axe d'ordre 1, les premiers niveaux de ramifications portés par cet axe sont des axes d'ordre 2, puis des axes d'ordre 3 portés par les axes d'ordre 2, etc. Après le début de la ramification, le bourgeon latéral devient le bourgeon terminal de l'axe d'ordre n qu'il vient d'initier. En somme, la croissance en hauteur se fait grâce à des méristèmes primaires situés au niveau des bourgeons dans les parties de l'arbre âgées de moins d'un an.

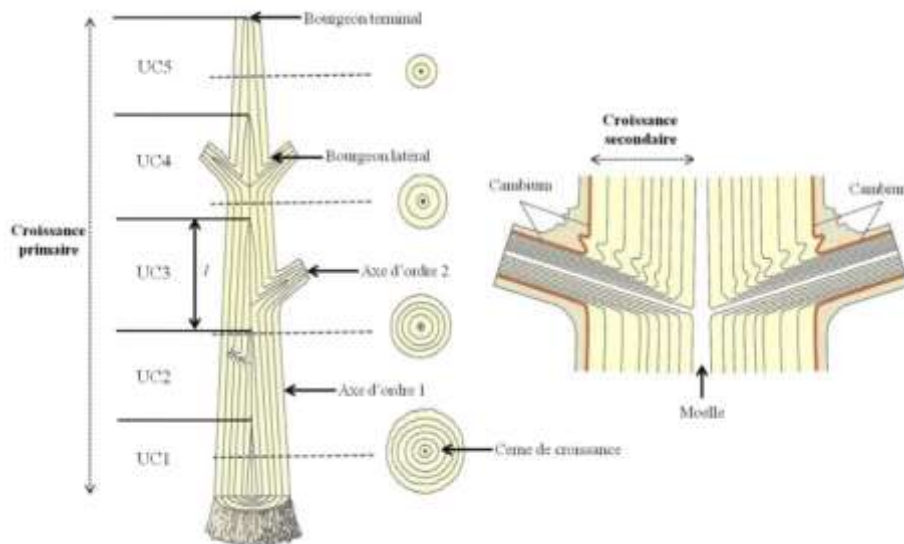


Fig. 2. Mise en place de la structure arborescente (Jacquiot, 1973 ; Morel, 2013).

Dès qu'une nouvelle unité de croissance primaire (UCP) est mise en place, deux nouveaux méristèmes dits secondaires y font leur apparition entre autres :

- le cambium (ou assise libéro-ligneuse), qui va produire du xylème (bois) et phloème (écorce interne ou liber) secondaires ;
- et le phellogène (ou assise subéro-phellogénique) qui va produire du phellogène et du suber (liège) constituant le périderme pour le phellogène (Fig. 3).

Le cambium, par division cellulaire produit régulièrement de nouvelles couches de bois (xylème secondaire) en périphérie de l'unité de croissance (UC), vers l'intérieur, à partir de l'écorce (constituée du phloème secondaire, du périderme et de l'épiderme). En définitive, la croissance en largeur se fait grâce à ses méristèmes secondaires situés dans et sous l'écorce et toujours dans les parties de l'arbre âgées de plus d'un an (Jacquiot *et al.*, 1973 ; Schweingruber, 1990).

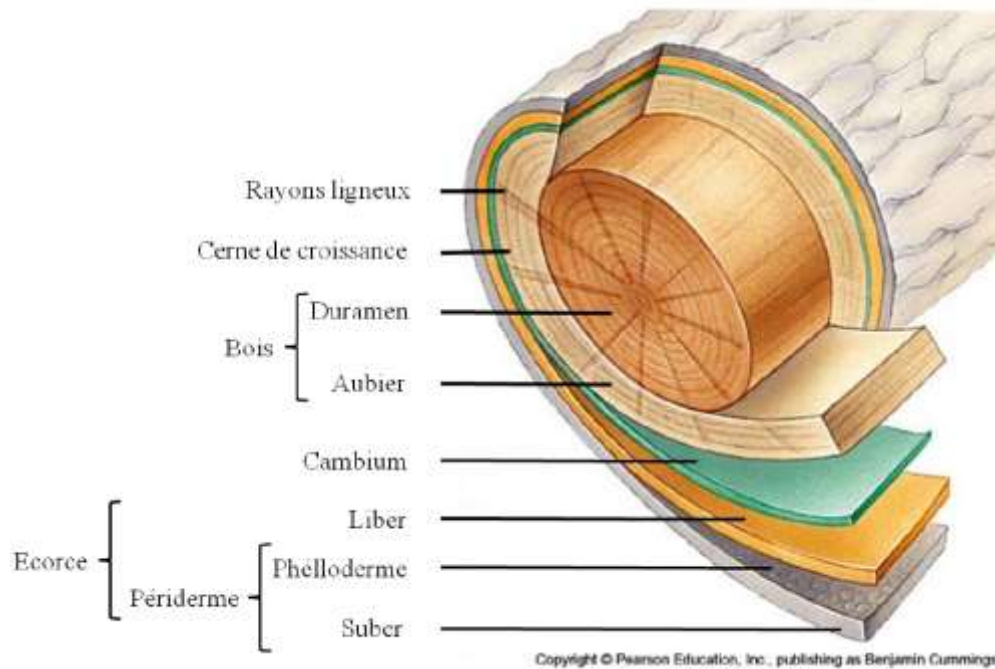


Fig. 3. Section transversale d'un tronc de feuillus (Morel, 2013 ; Dalling *et al.*, 2024).

I.3.1.1.2. Zone cambiale

La zone cambiale est constituée par le cambium au sens strict, ce dernier est composé d'une couche de cellules indifférenciées, appelées les cellules initiales, ainsi que par les cellules mères du phloème et du xylème formé à partir de la division des cellules initiales. Les cellules mères du xylème se divisent plus que celles du phloème, ce qui explique la plus forte quantité de tissus du xylème que du phloème.

Le cambium se compose d'une fine couche de cellules initiales étroites, allongées et à parois minces.

On distingue deux types de cellules initiales du cambium :

- les cellules initiales radiales donnent naissance aux cellules des rayons essentiels à la translocation des nutriments entre le phloème et le xylème ;
- les cellules initiales fusiformes qui se divisent dans le sens de la longueur et forment par division périnclinale (plan longitudinal-tangentiel) des tissus vasculaires secondaires différents selon leur position.

A l'intérieur, les éléments du bois (principalement des trachéides chez les résineux, mais aussi des éléments des vaisseaux, des cellules associées, du parenchyme axial et des fibres chez les feuillus) et à l'extérieur, des cellules du phloème (des tubes criblés, et chez les feuillus, des cellules compagnes, du parenchyme axial et des fibres).

Les cellules initiales fusiformes se divisent également dans le plan longitudinal-radial et forment des cellules sœurs similaires aux cellules mères qui permettent un accroissement harmonieux en circonférence du cambium (Wagenfuhr, 1999 ; Morel, 2013) (Fig. 4).

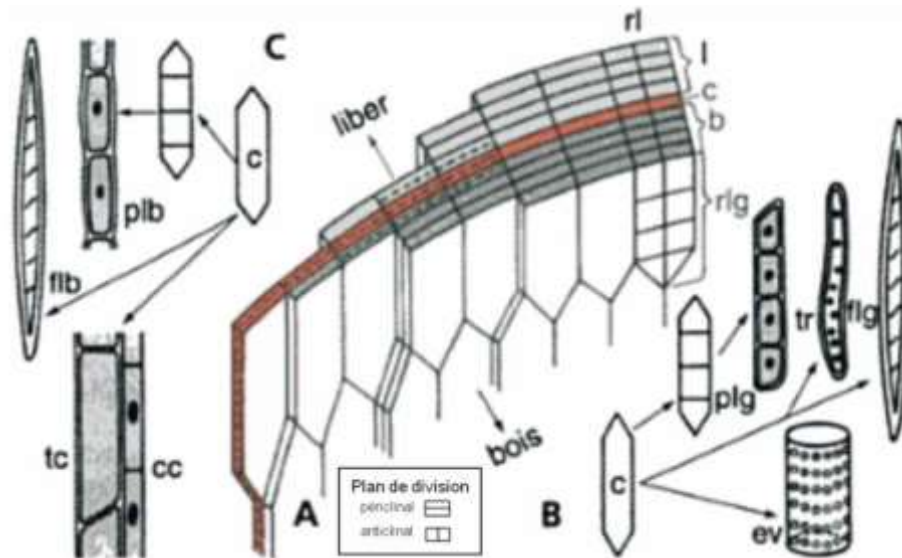


Fig. 4. Ultrastructure de la zone cambiale : A. Diagramme schématique, les cellules prismatiques aux extrémités pointues sont représentées en coupe transversale sur la face supérieure. Le trait rouge indique la zone de division des cellules cambiales sur le bord droit, un rayon de parenchyme. B. Différenciation d'une cellule cambiale en divers éléments du bois. C. Différenciation d'une cellule cambiale en divers éléments du phloème. b = bois, c = initiales cambiales, cc = cellule compagne, ev = élément de vaisseau, flb = fibre libérienne, flg = fibre ligneuse, l = liber, plb = parenchyme libérien, plg = parenchyme ligneux, rl = rayon libérien, rlg = rayon ligneux, tc = tube criblé, tr = trachéide (Nultsch, 1998 ; Morel, 2013).

I.3.1.1.3. Formation du bois

La formation du bois ou xylogénèse, est induite par l'activité du cambium et se réalise en cinq étapes majeures :

- la division cellulaire ;
 - l'expansion cellulaire (allongement et élargissement radial) ;
 - l'épaississement de la paroi cellulaire (la synthèse et le dépôt de la cellulose, des hémicelluloses, des protéines de la paroi cellulaire et de la lignine) ;
 - la mort cellulaire programmée des fibres (ou trachéides) et des vaisseaux ;
 - et enfin la formation du duramen, ou bois de cœur (mort programmée des parenchymes)
- (Rowell, 2005) (Fig. 5).

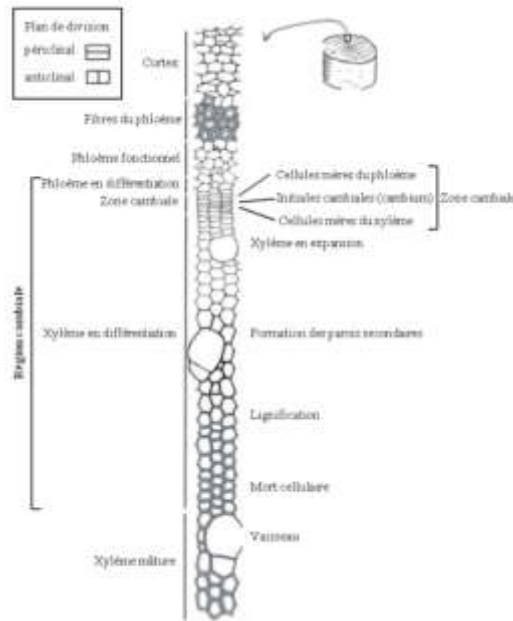


Fig. 5. Zone cambiale de feuillus et terminologie des tissus en formation du bois (Sharder, 2003 ; Morel, 2013).

Les cellules issues de la division du cambium vont subir une période d'expansion cellulaire. En particulier chez les feuillus, pour la formation des vaisseaux l'expansion est essentiellement radiale tandis que celles qui formeront les fibres vont s'allonger longitudinalement. A la fin de la phase d'expansion, le protoplaste (cellule végétale dont la paroi a disparu) commence à produire la paroi secondaire qui est composée de trois niveaux (S1, S2, S3).

Ces niveaux sont constitués essentiellement de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Ils diffèrent principalement par l'angle des microfibrilles les constituant. Cette phase se distingue assez bien en lumière polarisée grâce à la réorganisation des microfibrilles de cellulose. Cette étape se termine par la lignification de la paroi secondaire.

Le dernier stade de développement d'une cellule du xylème secondaire, telle que les vaisseaux, les fibres et les trachéides, est l'autodigestion du protoplaste vivant due à la mort cellulaire programmée. Les événements majeurs de cette dernière étape sont le gonflement de la vacuole suivi par la rupture du tonoplaste et une rapide dégradation du noyau. Ces cellules deviennent alors des tubes vides. Toutefois, parmi ces cellules, certaines restent vivantes. Ce sont les cellules des parenchymes radial et longitudinal. Plus tard, dans la vie de l'arbre, ces cellules dégèreront à leur tour et participeront à la formation du duramen (Jacquot *et al.*, 1973 ; Detienne, 1988).

I.4.1. Exploitation forestière

I.4.1.1 Dans le monde

Un peu plus de 400 millions d'hectares de forêts tropicales sont destinées à une exploitation forestière sélective dans le monde (Blaser *et al.*, 2011). Cette exploitation perturbe évidemment ces forêts, mais les dégâts causés par celle-ci sont limités dans les forêts relativement bien gérées. Dans le cas d'une exploitation forestière à impact réduit, ces forêts conservent généralement d'importants stocks de carbone après leur exploitation (Sist *et al.*, 2014).

En Afrique, la superficie des forêts de production certifiées (FSC, PEFC, OLB, etc.) a plus que triplé entre 2005 et 2010, passant de 1,48 à 4,63 millions d'hectares (Blaser *et al.*, 2011). De nos jours il est clair que cette tendance est différente dans les pays du bassin du Congo, avec une diminution des superficies certifiées au Cameroun par contre le Gabon a signé un texte exigeant aux sociétés d'avoir un certificat FSC. Au Congo Brazzaville, en plus APV-FLEGT sont en cours d'implémentation plusieurs sociétés sont certifiées.

Dans le cadre de ces systèmes de certification, les entreprises forestières sont tenues d'évaluer si les espèces sont exploitées de manière durable, et dans le cas contraire, d'adapter leur système d'exploitation. Cependant, les données nécessaires pour évaluer cette durabilité (taux de croissance, de mortalité et de régénération des arbres...) sont rares, particulièrement pour les espèces africaines (Picard *et al.*, 2010).

L'analyse des cernes de croissance fournit des données de croissances spécifiques à la durée de vie spécifique à l'espèce, qui peuvent être utilisées pour l'amélioration des projections de la quantité de bois disponible lors des prochains cycles d'exploitation (cycle de coupes). Malgré la pertinence de tels calculs pour la GDF, l'analyse des cernes a rarement été réalisée pour les espèces forestières africaines (Putz *et al.*, 2012 ; De Ridder *et al.*, 2013b).

Cela est d'autant plus surprenant sachant que de nombreuses espèces forestières africaines produisent des cernes de croissance (Mariaux, 1967a ; Mariaux, 1967b ; Détienne *et al.*, 1998). Il est donc urgent de mener d'autres études sur l'exploitation forestière des arbres, compte tenu de l'importance d'une gestion durable pour la conservation des zones forestières et la préservation de la biodiversité des forêts tropicales (Putz *et al.*, 2012).

I.4.1.2. En Afrique Centrale

L'Afrique Centrale abrite la seconde plus large surface continue de forêts tropicales humides du monde d'environ 2 millions de km² (Mayaux *et al.*, 1998). Plus de 44 millions d'ha

de ces forêts ont été affectées à l'exploitation forestière sélective (Bayol *et al.*, 2012). Dans les années 2000, les Etats de l'Afrique Centrale ont adapté leurs législations forestières, en faisant de la gestion durable des concessions forestières une priorité (Anonyme, 2018).

La GDF est un concept qui maintient et améliore la fourniture des biens et des services fournis par les forêts, afin de répondre aux besoins actuels et futurs et de préserver leurs contributions à long terme au développement économique, écologique et social (Sarre et Sabogal, 2013). Dans les concessions attribuées aux compagnies privées, il est essentiel d'assurer une production continue de bois sans toutefois affecter les services et les fonctions de la forêt. L'accroissement diamétrique est l'un des paramètres clé utilisé pour modéliser la dynamique de population des espèces forestières exploitées, cette valeur est utilisée pour calculer les taux de reconstitution à la fin du cycle de coupe (Picard *et al.*, 2009).

L'accroissement diamétrique des espèces tropicales est généralement obtenu des mesures répétées des arbres aux mêmes endroits pendant quelques années de croissance sur les parcelles permanentes (PPs) ou simplement sur des transects (Picard et Gourlet-Fleury, 2008 ; Ligot *et al.*, 2019). Les mesures périodiques peuvent permettre à un grand nombre d'arbres d'être étudié et de fournir des informations essentielles sur l'accroissement, la mortalité et même la croissance en forêt. Malgré le fait que les PPs doivent être suivies pendant de longues périodes pour avoir des données statistiques robustes (Tosso *et al.*, 2020).

Les informations écologiques de bases sur les espèces forestières exploitées (âge, trajectoires de croissance, régénération, taux de survie...), sont essentielles pour les planifications/projections en GDF. Ainsi, ces informations pour les espèces forestières tropicales sont généralement obtenues des mesures des arbres dans les PPs. Ces mesures dans les PPs en Afrique Centrale constituent en effet une méthode indirecte consistant à des mesures répétées des diamètres des arbres aux mêmes endroits pendant quelques années de croissance (Picard & Gourlet-Fleury, 2008). Et leurs contributions dans l'obtention des informations sur les arbres africains (espèces) restent très limitées. Plusieurs études ont été réalisées (Chuyong *et al.*, 2004 ; Lewis *et al.*, 2009a ; Lewis *et al.*, 2009b). La distribution géographique de ces PPs implique que les informations sur les zones forestières commerciales importantes sont manquantes. (Picard *et al.*, 2010), et plusieurs PPs sont petites, généralement d'un ha de superficie, et contiennent un petit nombre d'espèces commerciales, qui sont présentes à une densité de 5 arbres. ha⁻¹ (Poorter *et al.*, 1996 ; Hall *et al.*, 2003).

Parce que la période de suivi des PPs est juste une infinie fraction de l'âge des arbres, elle entraîne souvent des résultats biaisés sur les estimations des relations arbre-âge (Martinez-Ramos et Alvarez-Buylla, 1998), à cause du manque d'informations à long terme sur l'âge et l'accroissement des espèces forestières commerciales. À la lumière de ce qui précède, les recherches sur les cernes de croissance sont de plus en plus reconnues comme une méthode rapide et directe d'obtention des âges et accroissement pour les espèces forestières tropicales. Quelques études (recherches sur les cernes de croissance) ont prouvé leurs potentiels pour la GDF (Brienen et Zuidema, 2006a ; 2006b ; Schöngart *et al.*, 2006 ; Rozendaal *et al.*, 2010a ; López *et al.*, 2013 ; Brienen *et al.*, 2016). En Afrique Centrale particulièrement, les informations obtenues de l'analyse des cernes de croissance prennent en compte les informations d'accroissement sur toute la durée de vie des arbres. Elles peuvent donc être utilisées pour la modélisation des âges et trajectoires de croissance des espèces forestières exploitées et aussi pour évaluer le temps nécessaire pour ces arbres d'atteindre les diamètres minimum d'exploitabilité (DME) (De Ridder *et al.*, 2013b ; Groenendijk *et al.*, 2014 ; 2017 ; Ligot *et al.*, 2019).

Malgré l'intérêt grandissant sur ces paramètres de nos jours, les informations sur l'accroissement spécifique à chaque individu (arbre), spécialement pour les forêts tropicales sont encore manquantes. Pour la GDF, l'analyse des cernes de croissance peut être utilisée comme données supplémentaires aux PPs.

I.4.1.3. Au Cameroun

À ce jour, les activités d'exploitation forestière dans le domaine forestier national sont régies par les textes encore applicables de la loi n°81/03 (Anonyme, 1981) et de son décret n°83/69 (Anonyme, 1983), de la loi n°94/01 (Anonyme, 1994a) et de ses décrets n°94/426, n°95/466, n°95/531 et n°95/678 (Anonyme, 1994b ; 1995a, b, c), de la loi n°2024/008 (Anonyme, 2024) qui n'a pas encore de décrets d'application à ce jour.

L'un des faits majeurs de la loi n°94/01 et de son décret n°95/678, et de la loi n°2024/008 (Anonyme, 2024) est le zonage du territoire en domaine forestier permanent (DFP) et domaine forestier non permanent (DFnP), et les aires couvertes par le domaine forestier national sont indiquées dans un plan national d'affectation des terres élaborés de manière participative.

Le DFP étant constitué des forêts domaniales, régionales communales, les aires protégées communautaires et les aires marines protégées (Anonyme, 2024). les forêts

domaniales étant constituées de trois types, parmi lesquelles les forêts de production (Anonyme, 2024), et ces dernières sont dotées d'un plan d'aménagement (PA) et peuvent être subdivisées par l'administration en UFAs (Anonyme, 1994a, b ; 1995b ; 2001a, 2024). Pour ce qui est de la soumission pour l'obtention d'une concession, l'article 65 du décret n°95/531 Anonyme (1995b) a été spécifiquement modifié par le décret n°2000/092 (Anonyme, 2000). Le classement d'une forêt est sanctionnée par un décret, et l'acte de classement tient compte de l'environnement socio-économique des communautés riveraines (Anonyme, 2024).

De plus, le découpage des UFAs s'est fait à l'aide de la première carte au 1/50 000^e et par l'interprétation des photographies aériennes, la cartographie de la ressource forestière au 1/200 000^e suivant les normes de cartographies forestières au 1/50 000^e et 1/200 000^e (Anonyme, 1992 ; 2001a) et aux seins des concessions forestières (UFAs) le découpage de ces concessions en six blocs quinquennaux ou unités forestières d'exploitation (UFEs), ces UFEs comportant chacune cinq AACs.

Les UFEs étant de tailles variables et ayant des volumes équivalents par contre, les AACs étant des surfaces équivalentes, le décret n°2001/143 crée un nouvel article 67 (5) et délimite la superficie d'une AAC soit au moins 2 500 ha ou le 1/30 de la superficie de la concession (Anonyme, 2001b).

L'élément de base de l'exploitation forestière étant la connaissance de la ressource disponible, ceci s'effectue avec l'aide des travaux d'inventaires d'aménagement et de préinvestissement, et puis les travaux d'inventaires d'exploitation préalable à un recensement des arbres et l'analyse de la structure de la richesse des peuplements forestiers. Il faut noter que cet inventaire compte, mesure et identifie toutes les tiges/essences à partir d'un diamètre de 20 cm, le taux de sondage ≥ 1 pour une concession inférieure à 50 000 ha et $\geq 0,5$ pour une concession de 50 000 ha ou plus (Anonyme, 1991 ; 1994a, b ; 1995b ; 2001a ; 2009 ; 2012a).

En revanche, l'inventaire d'exploitation consiste à déterminer et énumérer toutes les espèces/essences commerciales présentes en un lieu donné. La saisie et la compilation de ces données se faisant à l'aide du logiciel TIAMA (Anonyme, 1999a). Ce qui permet le calcul de la possibilité forestière et l'obtention des informations sur la distribution des diamètres des arbres de chaque espèce, ceci aboutissant à la détermination de l'intensité de prélèvement ainsi qu'à celle des DME par espèces.

En outre la durée de rotation dans l'exploitation forestière est fixée à 30 ans, les accroissements en diamètre des essences sont celles publiées par le MINFOF (Anonyme, 2001a).

Toujours à l'aide du logiciel TIAMA et sur la base du résultat d'inventaire sont obtenus : une liste de toutes espèces inventoriées ; le cycle de rotation ; et les DMEs, ceux-ci sont fixés par l'aménagement sur la base des analyses du peuplement. Les estimations des accroissements ne sont pas incluses dans ces calculs de la possibilité.

Les espèces inventoriées sont ainsi réparties en cinq groupes (catégories commerciales) : DME = 100 cm pour la catégorie exceptionnelle ; et les catégories I, II et III correspondant respectivement au DME = 80, 60 et 50 cm. La catégorie IV quant à elle correspond aux autres espèces à potentiel commercial. Cette classification des essences forestières est encadrée par l'arrêté n° 0872 (Anonyme, 2001c).

En ce qui concerne tous les aspects faune, la loi et son décret l'encadre (Anonyme, 1994a ; 1995a ; 2024). L'arrêté n°0221 fixant les normes d'inventaire des espèces fauniques en zone de forêt, et l'arrêté n°0648 fixant la liste des animaux des classes de protection A, B et C (Anonyme, 2006a, b) et la loi n°2024/008 (Anonyme, 2024).

En guise de supplément, l'Administration en charge des Forêts et de la Faune a rendu exécutoire les directives d'inventaire d'aménagement prenant en compte les paramètres de biodiversité (faune et flore) pour les forêts de production du DFP (Anonyme, 2019a).

L'exploitation forestière doit se faire de manière à ce que chacune des espèces soient prélevées avec une intensité permettant la régénération naturelle de ces dernières, en laissant un nombre significatif d'arbres par espèce comme semencier, soit 10 % de la superficie totale de la concession comme zone de conservation (Anonyme, 1998a, b). Bien avant l'élaboration du PA, l'opérateur est tenu de mener une étude d'impact environnemental (EIE) conformément à la loi n°96/12 (Anonyme, 1996), et son décret n° 2005/0577 (Anonyme, 2005a), et des arrêtés n° 0070 fixant les différentes catégories d'opérations dont la réalisation est soumise à une EIE (Anonyme, 2005b) ; n° 00001 définissant le contenu général des termes de référence des EIEs (Anonyme, 2007a) ; n° 00004 fixant les conditions d'agrément des bureaux d'étude à la réalisation des études d'impact et audits environnementaux (Anonyme, 2007b). Ces textes ont été complétés par les décrets n°2013/017 fixant les modalités de réalisation des EIESs (Anonyme, 2013a) et n°2013/0172 fixant les modalités de réalisation de l'audit environnemental et social (Anonyme, 2013b), la décision n° 00131 fixant modalités de

délivrance des attestations de respect des obligations environnementales dans le cadre du régime d'autorisation FLEGT (Anonyme, 2016a), de l'arrêté fixant les catégories d'opérations dont la réalisation est soumise à une évaluation environnementale stratégique ou à une EIES (Anonyme, 2016b), du manuel de procédure d'obtention de l'attestation du respect des obligations environnementales (Anonyme, 2016c) et de la mise en œuvre du plan de gestion environnementale (Anonyme, 2024).

Les activités d'exploitation forestière se font selon les normes d'intervention en milieu forestier ayant pour but de minimiser l'impact de l'exploitation sur l'environnement et concernent entre autres la protection des zones inondables/des rives et plans d'eau, de la qualité de l'eau, de la faune ; le tracé/la construction/l'amélioration des routes forestières ; les campements et les installations industrielles ; l'implantation des parcs à grumes ; l'exploitation /abattage et le débardage (Anonyme, 1998a, b ; Anonyme, 2001a).

Le PA est préparé conformément aux règles et règlements pour la protection et la durabilité des forêts, et il est dûment approuvé par l'autorité compétente chargée de définir les utilisations de la forêt, les activités et les pratiques applicables au rendement durable, au remplacement ou à la qualité/durabilité amélioration quantitative des ressources, et la préservation de l'équilibre des écosystèmes (Anonyme 1994a ; 1998a, b ; 2024).

Aujourd'hui, les règles forestières n'exigent pas d'obtenir des informations sur la régénération naturelle avant les activités d'exploitation et recommandent uniquement un principe de précaution (Anonyme, op. cit. ; op. cit.), et l'inclusion d'un système de surveillance des forêts dans le plan de gestion pour évaluer leur croissance, leur rendement et leur réponse aux traitements sylvicoles (Anonyme, op. cit. ; op.cit.).

Bien que la création de parcelles permanentes d'échantillonnages (PPs), de parcelles temporaires et de diagnostics d'échantillonnages ait été suggérée pour déterminer les taux de croissance (rendement forestier), la densité de régénération des espèces commerciales, le potentiel de régénération naturelle et la récolte future d'arbres, il est possible de choisir un autre échantillonnage technique permettant de générer les informations nécessaires pour adapter les pratiques de gestion. À cette fin, ces dernières années, la plupart des données utilisées ont été celles des PPs, cependant elles fournissent des informations sur une courte période contrairement aux données fournies par l'analyse des cernes de croissance des arbres (dendrochronologie). Dans cette optique, l'organe de tutelle en charge de la gestion forestière

a produit et rendu applicable, un protocole de suivi de la dynamique de peuplement (Anonyme, 2019b).

En outre pour améliorer l'application des réglementations forestières, la gouvernance et les échanges commerciaux avec l'Union Européenne (UE) le Cameroun a signé les accords de partenariats volontaires APV-FLEGT (Amonyme, 2010b), qui sont arrivés à échéance cette année (2024) et n'ont pas été reconduits par la partie Union Européenne (UE). Dans la même optique, le FSC a mis en place un Groupe d'Élaboration des Normes nationale (GEN), qui a produit une norme de certification forestière pour les forêts du Cameroun (Anonyme, 2020b).

I.5.1. Théorie et application de l'anatomie du bois

I.5.1.1. Historique

L'étude anatomique des végétaux se serait pratiquée déjà dans la Grèce antique mais ce n'est qu'à la fin du XVII^e siècle, grâce à la construction des premiers microscopes, que de réelles observations ont pu être faites. Parmi les précurseurs il faut citer Marcello Malpighi, Nehemiah Grew et Antoni van Leeuwenhoek qui ont observé et décrit tous les types cellulaires en essayant même d'expliquer leur fonction physiologique. Leurs observations étaient assez poussées pour leur permettre de décrire, des épaississements spirales et des ponctuations à l'intérieur des vaisseaux. Van Leeuwenhoek expliqua aussi la différence de durabilité entre le bois de cœur et l'aubier et la cause des différents comportements technologiques entre le bois des Chênes à croissance rapide et celui des Chênes à croissance lente.

Par la suite à partir du XIX^e siècle, l'examen de la structure des plantes a progressé au fur et à mesure du perfectionnement des instruments d'optique pour arriver actuellement à l'étude ultramicroscopique des parois grâce aux microscopes électroniques (Wagenführ, 1988 ; 1999).

I.5.1.2. Technique de mesure

Les techniques de mesures sont fonction de l'axe de la coupe anatomique des éléments qui y sont visibles, des microscope et logiciels anatomiques utilisés. En coupe transversale, les mesures sont réalisées sur : les largeur des vaisseaux, le nombre de pores/mm², le nombre de rayons/mm, le nombre de lignes tangentielles continues de parenchyme ; en coupe longitudinale les mesures effectuées sur : la taille des ponctuations intervasculaires, la hauteur et la largeur des rayons, le nombre et la longueur des cellules de parenchyme/file, les fibres et enfin en coupe radiale les mesures peuvent se faire sur des éléments ligneux dissociés, telles que les fibres et les vaisseaux.

À l'échelle macroscopique, les mesures ou les comptages sont réalisés à l'aide d'un film transparent superposé au plan ligneux. Ce transparent comporte différentes formes géométriques qui permettent par comparaison de mesurer ou compter les éléments ligneux d'intérêt. Pour le dénombrement, une forme d'une surface définie permet de compter, par exemple, le nombre de vaisseaux dans 5 mm². La détermination de la largeur des rayons ou des vaisseaux se fait par comparaison avec des traits de différentes épaisseurs (Lüttge *et al*, 2002).

Pour les mesures microscopiques classiques, on travaille également par comparaison mais cette fois grâce à un oculaire équipé d'un réticule préalablement étalonné pour chaque objectif du microscope au moyen d'une lame micrométrique graduée. Pour les mesures avec un microscope de projection, l'image est projetée sur un verre dépoli et le caractère anatomique est mesuré au moyen d'une latte graduée préalablement étalonnée et manipulée par l'opérateur.

Les méthodes modernes d'observation microscopique utilisent une caméra placée sur un tube oculaire du microscope et affichent l'image sur un écran d'ordinateur. Dans ce cas, une échelle graduée superposée à l'image et préalablement étalonnée pour chaque objectif permet de réaliser les mesures (Wagenführ, 1999 ; Jourez, 2011). Les protocoles ont été établis pour montrer comment faire des mesures sur des coupes anatomiques (Schmitz, 2010a). Et certains programmes ont été développés pour avoir des images anatomiques, des sections de bois et ceci dans l'optique de faire des mesures de différents paramètres : densité des vaisseaux, mesure des diamètres des vaisseaux (Schmitz, 2010a ; 2010b).

II.5.1.3. Plans ligneux

Dans un arbre, les éléments du bois sont orientés préférentiellement suivant un axe de symétrie longitudinal ou axial qui est matérialisé par la moelle. Perpendiculairement à cet axe, il est possible de définir un plan transversal (Tv) parallèle à une section horizontale du tronc (Fig. 6). Cette section correspond au bois debout. Parallèlement à l'axe de symétrie, les plans radial (Ra) et tangentiel (Tg), correspondent respectivement au débit sur maille et sur dosse.

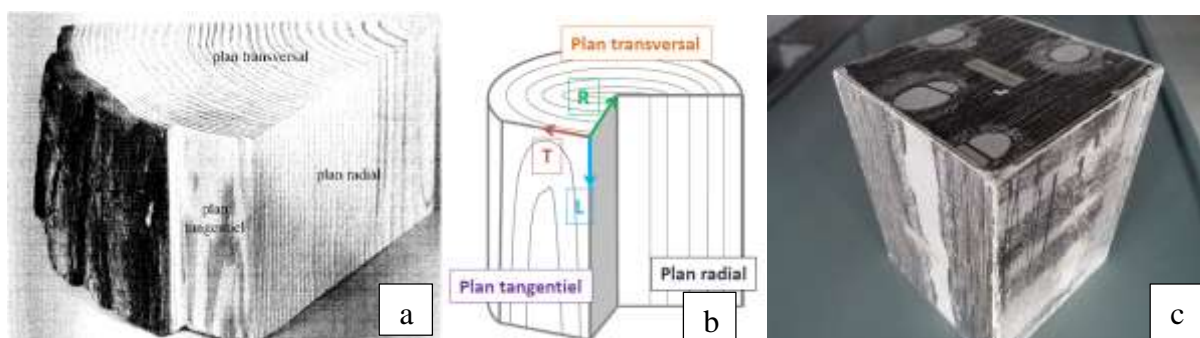


Fig. 6. Trois directions et les trois plans ligneux de références : plan transversal (Tv), plan radial (Ra), et plan tangentiel (Tg), (a et b) présentation macroscopique des différents plans ligneux

(Schweingruber, 1990 ; Trouy, 2017), (c) présentation microscopique de ces plans, (b) direction de coupes, R : radiale, T : transversale et L : longitudinale (Trouy, op. cit.).

II.5.1.3.1. Plan transversal

Le plan transversal (Tv) est perpendiculaire au fil du bois (direction générale des éléments axiaux), il est non seulement important pour l'identification des espèces mais aussi pour la détermination de l'âge et de la vitesse de croissance de l'arbre. Il correspond rarement à un plan de débit industriel (exception : plancher en bois debout).

Le cas échéant, il est possible d'observer macroscopiquement les cernes annuels de croissance, de distinguer l'aubier du duramen et de définir si l'échantillon provient d'un résineux ou d'un feuillu (Fig.6 a, b). De même, on peut observer les limites de cernes annuels, la disposition du parenchyme, l'importance du tissu fibreux et des rayons, et la présence ou non de vaisseaux et leur agencement (Fig. 6.c).

I.6.1. Théorie et application de la dendrochronologie

I.6.1.1. Historique

Les traces de cette science se retrouvent dans les travaux de Theophrastus 322 Av. J.C. qui a noté que les arbres croissent chaque année (Schweingruber, 1996), et les travaux de Léonard de Vinci (1452 – 1519) qui note une relation entre la taille des cernes d'un arbre et le climat. Puis ceux du menuisier Michel de Montaigne en 1581 qui a permis de compter les cernes pour atteindre l'âge des arbres (Sarton, 1954). Duhamel et George en 1737 ont permis de compter les cernes de croissance pour déterminer la date d'un cerne de gel visible (Webb, 1986), et Louis Leclerc de Buffon toujours en 1737 ont permis de compter les cernes de croissance pour déterminer la date d'un cerne de gel visible (Dean, 1978). Carl Linné 1707-1778 qui a compté sur un arbre les cernes de croissance très étroits et les relia à des hivers très rigoureux sur les 300 dernières années (Webb, 1986).

Au début du XXème siècle, le physicien astronome A.E. Douglas, qui a fondé le laboratoire de recherche de dendrochronologie à l'Université de l'Arizona, aux États-Unis posa les bases de la dendrochronologie modernes, en mettant en relation la croissance des arbres avec les précipitations en Arizona, en couplant de nombreux échantillons vivants et des vestiges archéologiques, il effectua une chronologie des précipitations en Arizona jusqu'à l'an 700.

Aujourd'hui, la dendrochronologie a pris un essor considérable dans la communauté scientifique et de nombreuses chronologies du climat ont pu être établies dans différentes

régions du globe, principalement en climat tempéré (Kalela-Brundin, 1999). Speer (2010) a produit un livre très utile pour l'analyse des cernes de croissance en présentant l'historique et la méthodologie de la dendrochronologie.

I.6.1.2. Cernes de croissance en milieu tropical

La théorie selon laquelle les espèces tropicales ne montrent pas de croissance périodique, permettant d'observer les cernes de croissance distincts, a prévalu pendant le siècle dernier (Jacoby, 1989 ; Dünisch *et al.*, 2002). Bien que, des études dendrochronologiques aient confirmé que ceci n'est pas nécessairement vrai pour plusieurs espèces tropicales dans le monde (Stahle *et al.*, 1999), la plupart des arbres ont des cernes de croissance ou accroissements annuels, les informations relatives à leurs formations (et les facteurs qui les influencent) peuvent être représentés par les caractéristiques spécifiques de chaque cerne : la largeur, la densité et d'autres paramètres visuels ou analytiques qui peuvent différer d'un cerne à un autre (Fritts, 1976 ; Schweingruber, 1988).

Les techniques dendrochronologiques permettent, par la datation et l'étude des cernes de croissance des espèces ligneuses, de reconstituer la vie de la dynamique des arbres et des forêts. L'application de la dendrochronologie est rendue difficile en milieu tropical en raison du grand nombre d'espèces ne présentant pas de cernes annuels bien différenciés et de la difficulté de lecture des limites de cerne annuel sur beaucoup de celles qui en possèdent (Stahle, 1999). Toutefois, plusieurs études récentes vont à l'encontre de ce constat. Elles mettent en évidence la production de cernes de croissance, annuels ou non, en milieu tropical (Jacoby, 1989 ; Détienne, 1995 ; Gourlay, 1995 ; Sass *et al.*, 1995 ; Worbes, 2002 ; Lisi *et al.*, 2008 ; Wils *et al.*, 2009 ; Zuidema *et al.*, 2012).

L'identification de ces cernes est parfois difficile. En raison de la variabilité de la distinction et du caractère annuel du cerne, une inter-datation s'impose. Il s'agit d'un principe fondamental en dendrochronologie. Il permet de vérifier l'agencement de deux ou plusieurs séries de largeurs de cernes mesurés pour ainsi attribuer à chaque cerne son année exacte de formation.

Enfin, il reste une dernière condition à remplir pour que l'on puisse parler réellement de dendrochronologie. En effet, en plus de posséder des cernes de croissance annuels bien distincts, il faut que les cernes issus de plusieurs individus soient (au moins partiellement) influencés par un facteur commun. La rareté des données sur la croissance à long terme des

arbres des forêts tropicales peut être surmontée à l'aide d'une analyse des cernes. Les cernes de croissance des arbres ouvrent donc une fenêtre sur le passé et peuvent être utilisés pour évaluer les changements de croissance des arbres tropicaux à l'échelle d'un siècle (Rozendaal *et al.*, 2010a ; Zuidema *et al.*, 2013).

Cependant, il est essentiel de prouver que les cernes sont formés chaque année avant de procéder à une analyse des cernes pour obtenir des données de croissance à long terme, en particulier lorsque qu'on travaille avec des espèces tropicales pour lesquelles cela n'a pas encore été fait. L'analyse des cernes de croissance des arbres est effectuée depuis plus d'un siècle sous les tropiques (Coster, 1927 ; Worbes, 2002). Néanmoins, la formation de cernes annuels dans le bois des arbres des forêts tropicales humides a longtemps été remise en question (Swaine, 1994 ; Kurokawa *et al.*, 2003). Les chercheurs ont souvent pensé qu'il n'y avait pas de saisonnalité claire dans les forêts tropicales humides et que la croissance dans ces écosystèmes était continue tout au long de l'année (sans période de dormance cambiale).

En plus les premières publications sur les cernes de croissance des arbres tropicaux ont été faites en allemand (Coster, 1927 ; 1928) ou en français (Mariaux, 1967a, b ; Détienne et Mariaux, 1976 ; 1977) et en anglais dans différentes régions tropicales pour les espèces d'arbres locales (Détienne, 1989 ; Killmann et Tong, 1995 ; Devall *et al.*, 1995 ; Pumijumnong *et al.*, 1995 ; Worbes, 1999 ; Trouet *et al.*, 2001), ce qui entrave la diffusion des résultats. L'idée selon laquelle les cernes ne sont pas annuels chez les espèces forestières tropicales a donc longtemps fait en sorte de négliger le potentiel d'analyse des cernes dans les zones tropicales. Plus récemment, le caractère annuel des cernes de croissance a été démontré pour de nombreuses espèces d'arbres tropicaux croissants dans des forêts tropicales sèches (Dünisch *et al.*, 2003) ou les forêts tropicales inondées de manière saisonnière (Worbes *et al.*, 1995 ; Schöngart *et al.*, 2002).

Des listes non exhaustives ont été dressées d'espèces d'arbres à cernes de croissance annuels véritables pour différents biomes tropicaux (Worbes, 1989 ; Tarhule et Hughes, 2002 ; Worbes, 2002), y compris des espèces provenant de forêts tropicales où les précipitations annuelles sont de 1800 à 4 200 mm (Zuidema *et al.*, 2012).

Cependant, dans les forêts tropicales humides, forêts dont les précipitations annuelles sont supérieures à 4 000 mm, le potentiel d'analyse des cernes de croissance a à peine été évalué (Fichtler *et al.*, 2003). Les preuves sur le caractère annuel de la formation de cernes ne sont pas

simples à obtenir, car l'anatomie complexe de ces arbres tropicaux entrave la recherche sur les cernes de ces derniers (Stahle *et al.*, 1999).

La saison sèche dans ces régions ayant un degré de précipitation élevé, se caractérise par une pluviométrie mensuelle ≤ 60 mm (Worbes, 1995). Cette saison sèche peut induire une dormance cambiale chez les espèces à feuilles caduques, ceci en limitant l'activité cambiale durant la saison des pluies chaque année (Mariaux, 1967a, b ; 1969 ; Détienne et Mariaux, 1976 ; 1977 ; Détienne *et al.*, 1998 ; Pumijumong et Wanyaphet, 2006 ; Worbes, 1995), ou conduire au bois final qui est structurellement différent du bois initial formé lors de la saison pluvieuse (Dünisch *et al.*, 1999 ; Bauch et Dünisch, 2000).

Ainsi, ces couches de bois produisent des variations saisonnières caractérisées par différentes structures, qui ont été prouvées d'être annuelles dans de nombreuses espèces tropicales (Coster, 1927 ; 1928 ; Worbes, 1999 ; Fichtler *et al.*, 2004), en particulier les arbres de l'Afrique de l'Ouest et ceux du Cameroun montrent des cernes de croissance annuels (Hummel, 1946 ; Lowe, 1961 ; Mariaux 1967a, b ; 1969 ; 1970 ; Amobi, 1973/74 ; Détienne et Mariaux, 1976 ; 1977 ; Détienne, 1989 ; Worbes *et al.*, 2003).

Même dans les mangroves, l'analyse des cernes est possible pour l'obtention des informations sur l'âge et les taux de croissance des arbres (Verheyden *et al.*, 2004 ; Schmitz, *et al.*, 2007). Plusieurs études ont comparé les caractéristiques des limites de cernes distincts dans plusieurs espèces d'arbres tropicaux (Baas et Vetter, 1989 ; Détienne, 1989 ; Tarelkin *et al.*, 2016).

La nature annuelle des limites de cernes d'espèces d'arbres tropicaux peut être prouvée par différentes méthodes. Parmi lesquelles : les coups/blessures sur le cambium qui est une approche éprouvée pour obtenir des informations fiables sur le rythme de croissance d'un arbre (Mariaux, 1967b) ; la datation au radiocarbone, qui est une référence utile pour localiser l'année 1960 (induite par l'essai nucléaire vers 1960) suffisamment précise sur les disques (rondelles de bois) dans le monde (Worbes et Junk, 1989) ; et enfin, la périodicité annuelle de la croissance peut être vérifiée par une analyse des cernes menée sur les arbres individuels dont les âges sont connus, ainsi que par une interdatation des séries de cernes du même arbre (Stahle *et al.*, 1999).

L'analyse de cernes de croissance est progressivement reconnue comme étant une méthode rapide et directe d'obtention des données d'âge et d'accroissement sur les espèces forestières tropicales. Juste quelques rares études ont prouvé son potentiel pour la GDF, surtout

en Amérique du Sud (Brienen & Zuidema, 2006a, b ; Schöngart *et al.* 2006 ; Brienen et Zuidema, 2007 ; Rozendaal *et al.* 2010a ; López *et al.* 2013 ; Brienen *et al.* 2016) et quelques peu en Afrique Centrale (De Ridder *et al.*, 2013b ; Groenendijk *et al.*, 2014 ; 2017 ; Fétéké *et al.*, 2016).

Il est donc nécessaire de comprendre l'anatomie du bois pour bien identifier les limites de cernes (Worbes et Fichtler, 2010). Les anomalies telles que : les faux cernes ; cernes discontinus sont courants dans le bois des espèces tropicales. Les faux cernes sont des structures anatomiques dans le bois qui ressemblent à de véritables limites de cernes, mais qui se forment en raison de la variation de croissance intra-annuelle, cernes en surnombre, apparemment complets, dont les limites sont nettement marquées, et qui se sont formés au cours d'une seule période végétative. Contrairement aux fluctuations de densité, les faux cernes ne sont pas morphologiquement différents des vrais cernes, et ne peuvent être identifiés que par interdatation. Les cernes discontinus sont des cernes qui, dans un échantillon (rondelle de bois) apparaissent incomplets à cause d'une défaillance de l'activité cambiale, se produisent lorsque les cernes (deux) n'apparaissent que sur une partie limitée de la circonférence de la tige de l'arbre, ce qui entraîne la fusion de deux limites de cernes en un seul cerne sur la/les parties où l'arbre n'a pas poussé.

Ces anomalies (problèmes) ne sont pas exclusives aux zones tropicales, mais semblent plus fréquents chez les espèces tropicales que dans les régions tempérées (Worbes, 1995). L'existence de ces anomalies nécessite souvent de travailler avec des rondelles de bois entières pour pouvoir suivre les cernes de croissance sur toute la circonférence de cette dernière.

De plus, les relations climat-croissance sont souvent utilisées pour prouver l'annualité des cernes d'arbres (Brienen et Zuidema, 2005). L'analyse des cernes sous les tropiques offre une occasion presque inexplorée et unique d'évaluer les tendances à long terme de la croissance de ces arbres tropicaux.

De plus la connaissance des rythmes de croissances et leurs relations avec les variations climatiques est une information de base manquante pour plusieurs espèces d'Afrique tropicale (Schöngart *et al.*, 2006). L'étude des cernes de croissance (dendrochronologie) est un moyen assez facile d'accéder aux informations de croissance des arbres. Elle peut aussi être un outil important pour le développement des programmes de hautes résolutions, pour les reconstructions et les prédictions climatiques (Worbes, 2002 ; Fichtler *et al.*, 2004 ; Couralet *et*

al., 2005 ; Trouet *et al.*, 2009). Particulièrement attendu en Afrique tropicale où les informations climatiques sont éparses et difficiles à compiler.

L'activité cambiale (au sein de cernes) a été examinée pour l'obtention des informations sur la dynamique du cambium et pour élaborer une relation directe entre les données climatiques et la croissance des arbres. Dans les zones tempérées, l'hiver se caractérise par l'arrêt de l'activité cambiale des arbres, ce qui entraîne la perte complète de feuilles de ces derniers et le passage à la phase de dormance des arbres et la formation du cerne de croissance... Par contre dans les zones tropicales, les phénomènes qui influencent les processus phénologiques de la végétation sont encore inconnus (Schöngart *et al.*, 2002). Le développement des arbres entraîne quelques manifestations rythmiques qui sont liées les unes aux autres (Fig. 7). L'activité cambiale produit donc le bois, qui est un matériau durable pouvant être étudié bien longtemps après sa formation.

I.7.1. Phénologie des arbres tropicaux

Le lien entre la phénologie et le contrôle de la floraison chez les arbres tropicaux est établi (Borchet, 1983). La phénologie végétative varie en fonction de la disponibilité en eau du sol durant la saison sèche et va des espèces sempervirentes dans des sites humides ou rivulaires aux espèces semi-décidues dans des sites secs en hauteur (Borchet *et al.*, 2002 ; Borchet, 1994 ; 2003). La phénologie des arbres est le plus déterminé par le contrôle photo-périodique et la saisonnalité des pluies et les facteurs environnementaux qui contrôlent la périodicité de la floraison (Borchet *et al.*, 2004 ; 2005). Au niveau de l'équateur, l'ensoleillement et le contrôle photo-périodique contribue au développement des arbres qui ont une croissance plus rapide (Borchet *et al.*, 2015). À l'équateur, où la durée du jour est constante, de nombreux arbres bourgeonnent à intervalles irréguliers, mais d'autres le font à la même période chaque année (Borchert *et al.*, 2005). Il n'y a pas de consensus concernant le signal environnemental qui provoque un verdissement synchrone. Les variations saisonnières de l'irradiance (Van Schaik *et al.*, 1993), de l'heure du lever ou du coucher du soleil (Borchert *et al.*, 2005), de la lumière solaire (Huete *et al.*, 2006), du rayonnement solaire (Myneni *et al.*, 2007 ; Morton *et al.*, 2014) et de la forte intensité solaire (Renner, 2007 ; Yeang, 2007) ont été prises en compte.

ENVIRONNEMENT

PHYSIOLOGIE DE L'ARBRE

PHÉNOLOGIE

Propriétés du sol

Humidité du sol

Absorption d'eau

Précipitations

Déficit de pression

Évapo-transpiration

Statut de l'eau de
l'arbre

Températures

Phénologie reproductive
(Floraison, fructification et
dissémination des fruits)

Phénologie foliaire
(Rupture des bourgeons, expansion
des feuilles et abscission des
feuilles)

Activité cambiale

Fig. 7. Relation causale entre les intrants environnementaux (à gauche), l'état de l'eau dans l'arbre et ses déterminants intrinsèques (au centre) et le développement saisonnier (à droite) dans les arbres des forêts tropicales d'après Borchet (1999).

I.8.1. Théorie et application de la densité du bois

I.8.1.1. Historique

Parmi toutes les propriétés physiques du bois, la densité spécifique (DS) a été la première à être examinée systématiquement. Un aperçu des données du 18^{ème} et du début du 19^{ème} siècle a été donné par Chevandier & Wertheim (1848), cit. Kollmann (1951). La terminologie utilisée ici est celle fournie par l'ASTM (American Society for Testing and Materials).

I.8.1.2. Densité spécifique du bois

La densité spécifique du bois peut être définie comme le rapport de la masse d'un échantillon à l'état sec à la masse d'un volume d'eau égal au volume de l'échantillon à une teneur en humidité spécifique (Anonyme, 2011).

Étant donné que la masse et, en dessous du point de saturation des fibres, le volume du bois varient en fonction de la quantité d'humidité contenue dans le bois. La densité spécifique appliquée au bois est une quantité indéfinie, à moins que les conditions dans lesquelles elle est déterminée soient clairement spécifiées. Elle est basée sur la masse sèche au four, mais le volume peut être celui à l'état sec, au four partiellement sec ou vert (Anonyme, 2011).

I.9.1. Théorie et application de dendrométrie et d'inventaire forestier

La dendrométrie et les inventaires forestiers ont commencé dans les pays occidentaux et les ressortissants de ces pays ont ramené ces concepts dans les régions tropicales. Les mesures des arbres dans les régions tropicales sont assez fastidieuses. Anonyme, (1980a ; 1980b) ; Rondeux (1999 ; 2021) ; Van Laar *et al.* (2007) ont défini les protocoles de mesures et d'inventaires forestier en précisant les différents instruments utiles. Ces instruments sont entre autres, pour le diamètre ou la circonférence des arbres : compas électroniques, rubans de croissance, ruban de mesure, Relascope de Betterlich Rotheudt et Verrue (2002) ; pour la hauteur des arbres sur pied par le clinomètre de Suunto Marchal et Rondeux (1995a), les différents dendromètres mécaniques : Suunto, Talltax II, Blume-Leiss, Relascope de Betterlich Marchal et Rondeux (1995b) ; Van Laar *et al.* (2007) ou électroniques : clinomètre Haglöf, Télémètres, Vertex Pauwels (2001) ; et d'estimer la surface terrière d'un peuplement Marchal et Rondeux (1995c).

CHAPITRE II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

II.1. MATÉRIEL

II.1.1. Choix du site

Les sites ont été retenus du fait de l'exploitation par la SFIL-GDC des espèces forestières commerciales retenues dans cette étude.

II.1.2. Site d'étude

L'AAC 3-3 en cours d'exploitation (2013) de l'UFA 10 025 dans la Région de l'Est Cameroun, Département de Boumba et Ngoko dans l'Arrondissement de Gari-Gombo et l'AAC 1-3 en cours d'exploitation (2015) de l'UFA 10 052 dans la Région de l'Est, Département de la Kadey et dans l'Arrondissement de Ndélélé. Les coordonnées sont comprises entre 3°30'N et 3°55'N de latitude et 14°45'E et 15°00'E de longitude, elle a fait l'objet d'une convention (n°007CPE/MINFOF/SG/DF du 05 Octobre 2005) et a été classée par décret n°2005/0257/PM du 25 Janvier 2005, de 49 595 ha (Anonyme, 2009) et l'AAC 3-3 a 1 586 ha de superficie. L'UFA 10 052 se localise entre les latitudes 3°44'28,21'' et 4°06'54,95'' Nord et les longitudes 14°27'24,84'' et 14°48'44,84'' Est, elle a été attribuée par décret N° 2010/3475/PM du 16 décembre 2010, de 70 410 ha (Anonyme, 2012a) et de 2619 ha de superficie pour l'AAC 1-3 (Fig. 8a).

La végétation appartient au domaine de la forêt dense guinéo-congolaise (White, 1983). Le massif de l'UFA 10 025 est localisé dans la zone de transition se rattachant au type de forêt mixte semi-caducifoliée à Sterculiaceae et à Ulmaceae dans sa partie Nord et au type de forêt toujours verte du Dja avec prédominance d'éléments de la forêt semi caducifoliée dans sa partie Sud (Letouzey, 1985). Par contre dans l'UFA 10 052, elle est en majorité constituée de forêt dense humide semi décidue dominée des deux familles précédentes et des Meliaceae (Letouzey, 1968). L'inventaire d'aménagement a permis de recenser dans la l'UFA 10 025, plus de 500 espèces forestières commerciales et dans l'UFA 10 052 plus de 320 (Anonyme, 2009 ; 2012a).

L'UFA 10 025 est situé sur une pénéplaine relativement accidentée par endroit dont l'altitude est de 550 - 650 m (Anonyme, 2009), et l'UFA 10 052 est peu perturbée et ressemble à une pénéplaine peu accidentée dont l'altitude est de 600 - 680 m (Anonyme, 2012a). Elles reposent sur un socle constitué de roches métamorphiques qui datent du précambrien (Martin et Segalen, 1966). De ces roches dérivent des sols de type ferrallitique brun-rougeâtre et jaune (Jones *et al.*, 2013). Ces sols sont présents dans les deux massifs à l'exception des bas-fonds et des bordures de cours d'eau où on retrouve des sols hydromorphes.

Le climat est équatorial humide (Köppen, 1900 ; Kottek et *al.*, 2006), $P_{\min} \geq 60$ mm, selon Worbes (1995) la distribution des précipitations est unimodale avec une saison sèche ayant des précipitations mensuelles < 60 mm. Dans les deux UFAs, il est de type guinéen, avec un régime pluviométrique bimodal caractérisé par quatre saisons dont une petite et une grande saison pluvieuse, alternant avec une grande saison sèche et une petite saison sèche. Selon la station de Yokadouma de 1978 - 1998, les précipitations de la région varient d'une année à une autre, pour une moyenne annuelle de 1600 ± 100 mm. La température annuelle moyenne se situant autour 24 °C, l'humidité relative de l'air est en moyenne de 82 %, l'AAC 3-3 de l'UFA 10 025 se situe à 85 km au Sud-Est de la station, et l'AAC 1-3 de l'UFA 10 052 est à 105 km au Sud-Est de la station (Fig. 8).

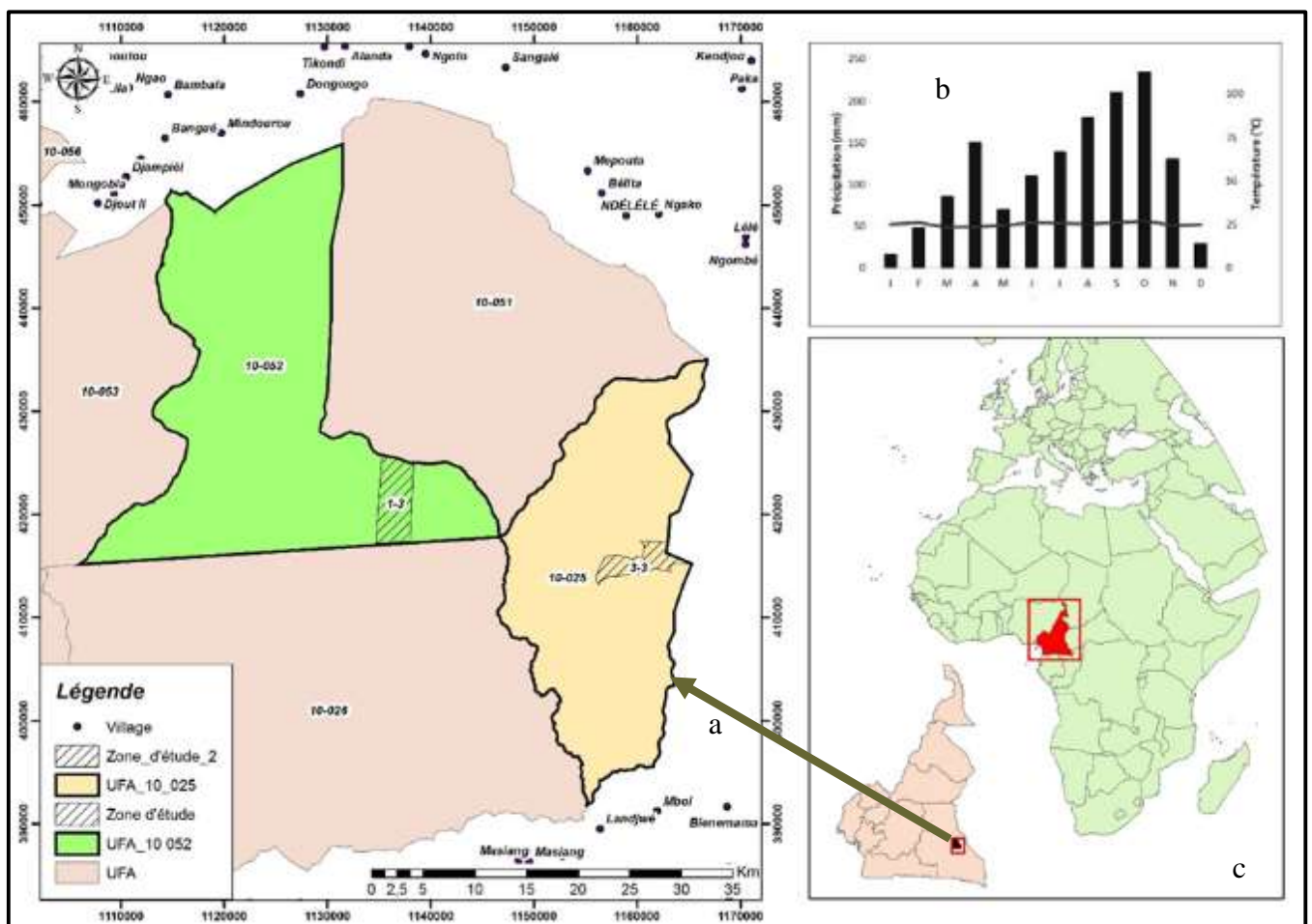


Fig. 8. Site d'étude et diagramme ombrothermique : a. site d'étude AAC 3-3 de l'UFA 10 025 (beige) et AAC 1-3 de l'UFA 10 052 (verte) de la SFIL-GDC, b. diagramme ombrothermique de Yokadouma.

II.1.3. Choix et description des espèces retenues

Le choix des espèces a été fonction du carnet de commande de la SFIL-GDC et de la disponibilité de la ressource. Ainsi en août 2013 dans l'AAC 3-3 de l'UFA 10 025, neuf espèces

ont été échantillonnées : *A. bipendensis* Harms et *E. suaveolens* Guill. & Perr. (Fabaceae-Ceasalpinioideae) ; *C. gabunensis* Harms (Fabaceae-Mimosoideae) ; *P. soyauxii* Taub. (Fabaceae-Papilionioideae) ; *E. cylindricum* Sprague et *E. utile* (Dawe & Sprague) Sprague (Meliaceae) ; *M. altissima* (A. Chev.) A. Chev. et *T. scleroxylon* K. Schum (Malvaceae) et *M. excelsa* (Welw) C.C. Berg (Moraceae).

Entre septembre-novembre 2015 dans l'AAC 1-3 de l'UFA 10 052, en plus du carnet de commande, la présence des cernes visibles (Hummel, 1946 ; Lowe, 1961 ; Détienne, 1989 ; Détienne et Mariaux, 1976 ; 1977) a été déterminante pour ce choix.

Juste trois des dix-huit espèces en cours d'exploitation pendant cette période ont été échantillonnées, ces espèces faisant partie des trente-cinq les plus exploitées dans le Bassin du Congo (Ruiz-Perez et *al.*, 2005).

Ces trois espèces ont été : *E. cylindricum* Sprague (Meliaceae) ; *E. suaveolens* Guill. & Perr. (Fabaceae-Ceasalpinioideae) et *T. scleroxylon* K. Schum (Malvaceae), elles faisaient partie de celles qui ont un bon potentiel d'analyse des cernes (tableau III).

Tableau III. Caractéristiques des espèces retenues : Tempérament (HNP : Héliophile Non Pionnière ; HP : Héliophile Pionnière) ; Distribution (C : Afrique Centrale, O : Afrique de l'Ouest, E : Afrique de l'Est) ; DME : Diamètre Minimum d'Exploitation; catégorie commerciale (Anonyme, 2001a) ; AAM : Accroissement Annuel Moyen (Anonyme, 1999).

Nom scientifique	Nom Commercial / local	Phénologie foliaire-abscission des feuilles	Tempérament ^a	Mode de dispersion ^b	Distribution en Afrique Tropicale ^{c, d, e, f, g}	DME (cm) ^h	AAM (cm/a) ^{h, i}	Catégorie commerciale ^{e h}	Principales utilisations du bois ^{c, d, e, f, g}	Précédentes études sur les cernes de croissance	Densité spécifique (g.cm ³) ^u
<i>Azelia bipendensis</i> (Fabaceae-Ceasalpinioideae)	Doussié Rouge/M'bangá	Décidue	HNP	Animal	Afrique C + O	80	0,4	I	Fourniture, construction navale, pont, instrument de musique	Oui ^{j, l}	0,73 ± 0,05
<i>Cylicodiscus gabunensis</i> (Fabaceae-Mimosoideae)	Okan/Adoum	Semi-décidue	HNP	Vent	Afrique C + O	60	0,4	II	Fourniture, hydraulique pont	Non	0,79 ± 0,07
<i>Entandrophragma cylindricum</i> (Meliaceae)	Sapelli/Assié	Décidue	HNP	Vent	Afrique C + O	100	0,5	Exceptionnel	Fourniture, instrument de musique	Oui ^{j, k, l, m, n, o, p}	0,57 ± 0,04
<i>Entandrophragma utile</i> (Meliaceae)	Sipo/Asseng-Assié	Décidue	HNP	Vent	Afrique C + O	80	0,5	I	Fourniture construction navale	Oui ^{j, k, l, m}	0,54 ± 0,04
<i>Erythrophleum suaveolens</i> (Fabaceae-Ceasalpinioideae)	Tali/Elon	Décidue	HP	Sans assistance	Afrique C + O	50	0,4	III	Fourniture, hydraulique	Oui ^{j, m, o}	0,77 ± 0,06
<i>Mansonia altissima</i> (Malvaceae)	Bété/Koul	Décidue	HNP	Vent	Afrique C + O	60	0,5	II	Fourniture, artisanat, construction navale (bordé et pont)	Oui ^j	0,56 ± 0,03
<i>Milicia excelsa</i> (Moraceae)	Iroko/Abang	Décidue	HP	Animal	Afrique C + O + E + Mozambique, Zimbabwe	100	0,5	Exceptionnel	Fourniture, construction navale	Oui ^{j, l, m}	0,58 ± 0,06

Nom scientifique	Nom Commercial / local	Phénologie foliaire-abscission des feuilles	Tempérament ^a	Mode de dispersion ^b	Distribution en Afrique Tropicale ^{c, d, e, f, g}	DME (cm) ^h	AAM (cm/a) ^{h, i}	Catégorie commerciale ^{e, h}	Principales utilisations du bois ^{c, d, e, f, g}	Précédentes études sur les cernes de croissance	Densité spécifique (g.cm ³) ^u
<i>Pterocarpus soyauxii</i> (Fabaceae-Papilionioideae)	Padouk/Mbel	Semi-décidue	HNP	Vent	Afrique C + Nigeria et Angola	60	0,4	II	Fourniture, construction navale, travaux hydrauliques, sculpture	Oui ^{j, q}	0,66 ± 0,07
<i>Triplochiton scleroxylon</i> (Malvaceae)	Ayous/Ayus	Décidue	HP	Vent	Afrique C + O	80	0,9	I	Intérieur, placage et panneaux, talon de chaussures, jouets en bois	Oui ^{j, l, n, p, r, s, t}	0,33 ± 0,03

^aBenédet *et al.* (2019) ; ^bMeunier *et al.* (2015) ; ^cAnonyme (2012b) ; ^dAnonyme (2011b) ; ^{e, f}Vivien et Faure (1985 ; 2011) ; ^gChudnoff (1980) ; ^hAnonyme (2001a, b) ; ⁱAnonyme (1999) ; ^jDétienne *et al.* (1998) ; ^kDétienne & Mariaux (1977) ; ^lDétienne (1989) ; ^mNzogang (2009) ; ⁿBattipaglia *et al.* (2015) ; ^oFétéké *et al.* (2016) ; ^pWorbes *et al.* (2003) ; ^qGroenendijk *et al.* (2014) ; ^rDétienne et Mariaux (1976) ; ^sLowe (1961) ; ^tLyamabo (1971) ; ^uZanne *et al.* (2009).

II.1.3.1. *Azelia bipendensis* Harms (Fabaceae-Ceasalpinioideae)

Elle se retrouve partout dans les forêts sempervirentes et est disséminée en général. Plus abondante en zone littorale, et en zone semi-caducifoliée de l'Est et du Sud-Est (Vivien et Faure, 1985 ; 2011). Arbre atteignant 40 m, le fût est droit/cylindrique de ~ 25 m, le diamètre est de 140 - 180 cm, une présence de légers contreforts concaves. L'écorce est brune-jaunâtre et écailleuse avec de crêtes sinueuses, la tranche est granuleuse brune jaunâtre mouchetée de blanc et odorante. Elle est héliophile et se rencontre sur des sols bien drainés et dans des forêts primaires et secondaires. Les feuilles sont alternes, composées pennées à rachis canaliculées (15-25 cm) à 4 à 8 paires de folioles opposées pointus au sommet. L'inflorescence est une panicule terminale ou axiale atteignant 18 cm de long, garnie de poils courts. Les fruits sont des gousses ligneuses en forme de rein, noires s'ouvrant en deux valves épaisses (Anonyme, 2011b ; 2012b ; Chudnoff, 1980 ; Vivien et Faure, op. cit. ; op. cit.).

II.1.3.2. *Cylicodiscus gabunensis* Harms (Fabaceae-Mimosoideae)

Elle se trouve partout en zone méridionale, et est plus rare en zone littorale (Vivien et Faure, 1985 ; 2011). C'est un grand arbre de 60 m, le fût est droit/cylindrique de 30 m, un diamètre variant de 170 - 300 cm. La base présente quelques contreforts bas et épais. L'écorce est brune-rougeâtre, et se détache en écailles plus ou moins rectangulaires liégeuses s'effritant sur place. La tranche est fibreuse jaunâtre à odeur désagréable. L'exsudat est un liquide translucide jaune s'écoulant tardivement, et en petite quantité. Elle est semi tolérante à l'ombre, se trouve en forêt semi-décidues et sempervirentes, présente dans les endroits bien drainés. Les feuilles sont alternes, composées pennées à une seule paire de pennes opposées formées de 5 à 10 folioles alternes, glabres, avec 6 à 10 nervures latérales peu accusées. L'inflorescence est une fausse grappe spiciforme et axillaire ou terminale, jusqu'à 15 cm de long, poilue, densément fleurie. Les fruits sont de très longues gousses pendantes, étroites, plates, couvertes de poils écailleux roux à maturité et se fendant d'un seul côté. L'exsudat est visqueux, jaunâtre (Anonyme, 2008 ; 2011b ; 2012b ; Chudnoff, 1980 ; Vivien et Faure, op. cit. ; op. cit.).

II.1.3.3. *Entandrophragma cylindricum* Sprague (Meliaceae)

Elle se retrouve en forêt caducifoliée, et à l'Ouest est présente aux abords septentrionaux du mont-Cameroun (Vivien et Faure, 1985 ; 2011). Cet arbre atteint 50 - 65 m de hauteur, le fût droit/cylindrique avec 30 m de hauteur, le diamètre variant de 200 - 280 cm, présente des contreforts épais et peu développés (Fig. 9.d). L'écorce est grise brune, à écailles arrondies irrégulières (Fig. 9.c). La tranche est cassante rose, pâle à l'extérieur, blanc jaunâtre vers l'intérieur, très odorante (Fig. 9.b). L'exsudat est rouge claire et odorante. Elle est héliophile

non pionnière et commune dans les forêts semi-décidues et peut se rencontrer dans les forêts sempervirentes. Les feuilles sont alternes et composées pennées à 5-9 paires de folioles (Fig. 9.a). L'inflorescence est une panicule axillaire ou terminale atteignant 25 cm de long, à pubescence courte. Les fruits sont des capsules en forme de cigare, à 5 valves se détachant à la fois du sommet et de la base (Anonyme, 2008 ; 2011b ; 2012b ; Chudnoff, 1980 ; Hawthorne, 1995; Palla et Louppe, 2002a ; Vivien et Faure, op. cit. ; op. cit.).

L'accroissement diamétrique annuel varie entre 0,24 - 1 cm.an⁻¹ (Adler, 1989 ; Bedel *et al.*, 1997 ; Détienne et Mariaux, 1977 ; Détienne *et al.*, 1998 ; Durrieu *et al.*, 1997 ; Fétéké *et al.*, 2015 ; Fétéké *et al.*, 2016 ; Jardin, 1995 ; Nzogang, 2009 ; Worbes *et al.*, 2003) et Annexe 1.



Fig. 9. *E. cylindricum* : (a) feuilles, (b) entaille, (c) écorce, (d) base de la souche et (e) aspect de la rondelle de bois.

II.1.3.4. *Entandrophargma utile* (Dawe & Sprague) Sprague (Meliaceae)

Elle se retrouve partout, mais est peu abondant (Vivien et Faure, 1985 ; 2011), atteignant 55 - 65 m, le fût est rectiligne/cylindrique de 40 m, le diamètre de 200 - 300 cm. Présence des empattements, rarement de contreforts. L'écorce est grise argentée, crevassée longitudinalement et horizontalement. La tranche est fibreuse rose, plus claire vers l'intérieur et un peu odorante. Héliophile non-pionnière, est commune dans les forêts semi-décidues et peut se rencontrer dans les forêts sempervirentes. Les feuilles sont alternes, composées pennées à 8- 24 paires de folioles opposées. L'inflorescence est une panicule axillaire ou terminale

atteignant 25 cm de long, à pubescence courte. Les fruits sont des capsules en forme de cigare, noirâtre s'ouvrant du sommet vers la base par 5 valves (Anonyme, 2008 ; 2011b ; 2012b ; Chudnoff, 1980 ; Vivien et Faure, op. cit. ; op. cit.).

II.1.3.5. *Erythrophleum suaveolens* A. Chev. (Fabaceae- Ceasalpinioideae)

Elle se rencontre surtout en forêt toujours verte, également dans la zone du Dja (Vivien et Faure, 1985 ; 2011). Arbre atteignant 40 m, le fût est rarement droit, pas très cylindrique et parfois difforme, de 15 m, le diamètre est de 150 - 250 cm. Avec présence ou non des contreforts à la base (Fig. 10.d). L'écorce est brune rougeâtre écailleuse (Fig. 10.c). L'entaille est dure granuleuse rouge foncé, parfois moucheté de blanc (Fig. 10.b). L'exsudat est liquide poisseux rougeâtre. Héliophile non-pionnière, est rencontrée dans les forêts sempervirentes et semi-décidues (Anonyme, 2011b ; 2012b ; Duminil *et al.*, 2010 ; Hall *et al.*, 2004 ; Hawthorne, 1995 ; Hawthorne et Jongkind, 2006). Les Feuilles sont alternes, composées bipennées à 2 - 4 paires de pennes opposées portant chacune 8 à 8 - 16 folioles alternes ovales (Fig. 10.a). L'inflorescence est une panicule axillaire ou terminale constituée de grappes spiciformes atteignant 8 cm. Les fruits sont des gousses plates oblongues, arrondies aux deux extrémités noires lisses s'ouvrant par deux valves ligneuses épaisses (Fig. 9.a) (Anonyme, 2008 ; 2011b ; Chudnoff, 1980 ; Vivien et Faure, op. cit. ; op. cit.).

L'accroissement diamétrique annuel varie entre 0,32 - 0,63 cm.an⁻¹ (Fétéké *et al.*, 2015 ; 2016) et Annexe 1.



Fig. 10. *E. suaveolens* : (a) feuilles et fruits, (b) entaille, (c) écorce, (d) base de la souche et (e) aspect de la rondelle de bois.

II.1.3.6. *Mansonia altissima* (A. Chev.) A. Chev. (Malvaceae)

Elle se rencontre dans les forêts semi-caducifoliées, y compris au Nord du Mont Cameroun (Vivien et Faure, 1985 ; 2011). Atteignant 45 m, le fût est droit/cylindrique avec 25 m, le diamètre variant de 100 - 150 cm, présence des empattements/contreforts peu développés. L'écorce est grise brunâtre fissurée longitudinalement, la tranche est tendre jaunâtre virant au brun blanc. L'exsudat est rouge sombre. Elle est héliophile. Les feuilles sont alternes, simples, grandes à limbe largement elliptique en cœur à la base, denticulé sur les bords, généralement glabre, à 5 - 7 nervures à la base et 5 - 6 paires de nervures, pétiole 3 - 5 cm. L'inflorescence est une grande cime terminale. Les fruits sont des samares insérées par 2 à 5 unités ailées (Anonyme, 2008 ; 2011b ; 2012b ; Vivien et Faure, op. cit. ; op. cit.).

II.1.3.7. *Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg (Moraceae)

Elle se rencontre partout, mais est un peu plus rare en forêt sempervirente, ne s'élève guère à plus de 1000 m sur les pentes des plateaux occidentaux et de l'Adamaoua (Vivien et Faure, 1985 ; 2011). Cet arbre allant à 50 m de hauteur, le fût est droit/cylindrique de 25 - 30 m, un diamètre de 250 - 300 cm, présence des empattements se prolongeant par des grosses racines arrondies (Fig. 11.d). L'écorce est grisâtre foncée, rugueuse, écailleuse, fendillée longitudinalement avec de nombreuses lenticelles (Fig. 11.c). La tranche est dure granuleuse, jaune orangé (Fig. 11.b). L'exsudat abondant est un latex blanchâtre, très fluide se coagulant à

l'air. Elle est héliophile pionnière exigeant la lumière, et caractéristique de la forêt semi décidue ou sempervirente, primaire ou secondaire. Les Feuilles sont alternes, simples, ovales, grandes, à pétiole grêle (Fig. 11.a). L'inflorescence est chaton, généralement solitaire. Les fruits sont de petites masses arrondies granuleuses, vertes (Anonyme, 2008 ; 2011b ; 2012b ; Chudnoff, 1980 ; Vivien et Faure, op. cit. ; op. cit.).



Fig. 11. *M. excelsa* : (a) feuilles, (b) écorce, (c) entaille, (d) base de la souche et (e) aspect de la rondelle de bois.

II.1.3.8. *Pterocarpus soyauxii* Taub. (Fabaceae- Papilloniodeae)

Elle se rencontre dans la partie méridionale, sur sol ferme (Vivien et Faure, 1985 ; 2011). Arbre atteignant une hauteur de 55 m, le fût est grand/cylindrique avec une hauteur de 20 - 30 m, le diamètre variant de 140 - 200 cm, des contreforts minces peu marqués sont présent. L'écorce est grise/fine s'exfoliant en longue lamelles. La tranche est fibreuse jaunâtre. L'exsudat est un liquide rougeâtre qui durcit et devient noirâtre en séchant. Elle est héliophile non-pionnière et est disséminée en petits groupes dans la forêt sempervirente et la semi-décidue. Les feuilles sont alternes, simples, ovales, grandes et à pétiole grêle. L'inflorescence est panicule axillaire ou terminale très ramifiée, densément couverte de poils. Les fruits sont des gousses à aile membraneuse circulaire, aplatie, indehiscente renfermant 1 graine. (Anonyme, 2008 ; 2011b ; 2012b ; Chudnoff, 1980 ; Vivien et Faure, 1985 ; 2011).

II.1.3.9. *Triplochiton scleroxylon* K. Schum (Malvaceae)

Elle est la caractéristique des forêts semi-décidues y compris dans les zones septentrionales du mont Cameroun, se rencontre exceptionnellement dans les forêts

sempervirentes (Vivien et Faure, 1985 ; 2011). C'est un arbre atteignant 50 m, le fût est rectiligne, souvent anguleux, fortement cannelé/irrégulier vers la base, de 20 - 30 m de haut. Le diamètre est de 150 - 210 cm, les contreforts ailés minces pouvant s'élever jusqu'à 8 m sont présents (Fig. 12.d). L'écorce est grise à brune jaunâtre, se détachant par plaques écailleuses (Fig. 12.c). La tranche est jaunâtre feuilleté (Fig. 12.b). L'exsudat est translucide clair, prenant un aspect blanc laiteux avec le temps. Elle est héliophile pionnière exigeant la lumière (Anonyme, 2008 ; 2011b ; 2012b ; Chudnoff, 1980 ; Hall et Bada, 1979 ; Palla et Louppe, 2002b ; Vivien et Faure, op. cit. ; op. cit.). Les feuilles sont alternes, simples ; stipules linéaires, de 2 - 4 cm de long et laissant des cicatrices annulaires ; pétiole de (1,5 -) 3 - 10 cm de long ; limbe 5 - 7 palmatilobé, jusqu'à 20 cm de long et de large, cordé à la base, lobes largement ovales ou triangulaires, obtus à aigu à l'apex, couvert de poils bruns étoilés sur les jeunes feuilles, mais devenant bientôt glabre (Fig. 12.a). L'inflorescence est une panicule axillaire ou terminale de 10 cm de long, densément poilue et bractée ~ 0,5 cm de long. Le fruit est une samare groupée par 5 et indéhiscente, et d'une longueur de 5 - 6 cm (Anonyme, op. cit. ; op. cit. ; Chudnoff, 1980 ; Palla et Louppe 2002b ; Vivien et Faure, op. cit. ; op. cit.).

L'accroissement diamétrique annuel varie entre 0,4 - 0,72 cm.an⁻¹ (Adler, 1989 ; Bedel *et al.*, 1997 ; Ligot *et al.*, 2019 ; Détienne & Mariaux, 1976 ; Détienne *et al.*, 1998 ; Durrieu *et al.*, 1997 ; Jardin, 1995 ; Anonyme, 1975a ; Worbes *et al.*, 2003) (Annexe 1).



Fig. 12. *T. scleroxylon* : (a) feuilles, (b) écorce, (c) entaille, (d) base de la tige et (e) aspect de la rondelle de bois.

II.1.4. Matériel

Le matériel utilisé pour ces travaux de recherche est le suivant :

- un GPS Garming 64st, pour la prise des coordonnées géographiques des arbres abattus/individus échantillonnés ; une boussole universelle pour l'orientation ;
- la carte de l'UFA 10 025, la carte de l'AAC 3-3 en cours d'exploitation pendant la période d'échantillonnage 2013 et les cartes journalières d'exploitation ; la carte de l'UFA 10 052, la carte de l'AAC 1-3 en cours d'exploitation pendant la période d'échantillonnage 2015 et les cartes journalières d'exploitation ;
- un appareil photo-numérique pour la capture des détails important ; deux mètre-rubans de 50 mètres, pour la prise des différents paramètres dendrométriques (diamètres gros bouts, diamètres petits bouts, hauteur totale de l'arbre, hauteur du houppier, hauteur de la tige, hauteur souche et hauteur culée) ; un quintuple décamètre pour la prise des diamètres à la base ($\pm 1,30$ m du sol) ou DHP ;
- une tronçonneuse «STIHL» pour la collecte des fragments des rondelles de bois (2013) ; 20 fragments de rondelles de bois des neuf espèces forestières (2 *A. bipendensis*, 2 *C. gabunensis*, 2 *E. cylindicum*, 1 *E. utile*, 2 *E. suaveolens*, 2 *M. altissima*, 3 *M. excelsa*, 3 *P. soyauxii* et 3 *T. scleroxylon*) ;
- deux tronçonneuses «STIHL» : la 1^{ière} pour l'abattage des arbres échantillons et la 2^{nde} pour la récolte des rondelles dans les parcs à bois, ouverture de routes, trouées d'abattages et pistes de débardages ;
- un bulldozer D6 pour le transport des petites rondelles des chantiers d'abattages aux parcs à bois ; un camion benne pour le transport des rondelles des chantiers d'abattages à la base vie de la SFIL (Ndeng) ; un véhicule hilux 4x4 pour le transport des rondelles de la base vie (Ndeng) à Yaoundé (Labo.139) ;
- Les supports d'écriture : bloc note, crayons, stylo à bille, fiche de collecte des données, marqueurs, craie du forestier... ; un ordinateur pour l'encodage des données journalières ;
- les rondelles de bois des trois espèces forestières : 15 *T. scleroxylon* (Malvaceae), 15 *E. suaveolens* (Fabaceae-Ceasalpinioideae), 11 *E. cylindicum* (Meliaceae) ;
- un robot électrique pour raboter, uniformiser et aplanir la surface à poncer ; un grand combiné de ponçage utilisant des bandes abrasives 30 à 600 sur toile pour le ponçage ; une ponceuse à meule + les papiers abrasifs de grain (40 à 1000) pour le ponçage des grains plus grossier aux plus fins ; un compresseur pour enlever les traces de poussière après chaque passage lors du ponçage ;

- le koatsciage et xylamon pour prévenir les attaques des insectes xylophages ;
- un robot électrique pour raboter, uniformiser et aplanir la surface à poncer ; une ponceuse à meule + les disques/papiers abrasifs grossiers (36, 40, 50 et 60) ; une ponceuse à bande avec des papiers vert 100 et 120 ; des cales à bois et des papiers abrasifs de différents grains (150, 220, 320, 400, 600 et 800) ; un aspirateur pour aspirer des poussières après chaque ponçage ;
- une ponceuse rotative « Festol » et des papiers disques abrasifs, de niveau de grain les plus grossiers au plus fins 400, 500, 800, 1000 et 1200, pour le ponçage des rondelles de bois ; un compresseur à air pour enlever simultanément les poussières ;
- un crayon et une règle graduée pour tracer les transects et effectuer le marquage des limites des cernes ;
- une simple loupe 2,5x (2013 et 2015) pour l'observation, le marquage et la vérification des limites de cernes ; une simple loupe PEAK LUPE 10x (2013) pour l'observation, le marquage et la vérification des limites de cernes de croissance ; un stéréo-microscope Olympus SZH10 7–70x (2013) pour l'observation, le marquage et la vérification des limites de cernes ; une loupe ESCHENBACH varioLEDflex (2015) pour l'observation le marquage et la vérification des limites de cernes ; un stéréo-microscope Olympus SZ51 22x4 (2015) pour l'observation, le marquage et la vérification des limites de cernes ;
- un scanner de marque Canon type CanonScanLider700F et un photocopieur Canon de marque IR8700, pour la numérisation des transects (2013) ; un scanner Epson Expression 11000XL relié à un ordinateur de très grande capacité pour la numérisation des transects (2015) ;
- le logiciel « Fiji » pour l'affinage « cropping » des transects et le logiciel « Mosaic J » pour coller les sections d'un même transect ;
- les logiciels « Image J » et « SOP DHXCT » pour la mesure des épaisseurs de cernes de 2013 et 2015 respectivement ;
- la base de données des échantillons du xylarium (MRAC), pour le tri et la recherche des coupes disponibles ; un microscope pour le choix des meilleures coupes transversales par espèces dans la xylothèque (MRAC) ; un microscope « Olympus » surmonté d'une caméra « Sony » relié à un ordinateur de bonne capacité ayant le programme Cell^B pour la caractérisation des limites de cerne par espèce ;
- des scies manuelles (égoïne, carré, japonaise, à buche, à dos), pour prélever sur chaque rondelle de bois un petit fragment d'1 cm³ ; deux étaux (fixe et mobile) pour maintenir

fixe les rondelles de bois lors du prélèvement des petits fragments de bois et découpe de ces derniers (étau fixe) ; un ciseau à bois et un maillet en bois, pour affiner les bords des petits fragments d'1 cm³ ;

- un mix glycérol 100 % + eau déminéralisée dans les proportions 1/2, pour éviter la déshydratation des petits fragments de bois ;
- des erlenmeyers dans lesquels sont introduits les petits fragments de bois d'1 cm³ des espèces de densité faible *T. scleroxylon* ou moyenne *E. cylindricum* et le mix (glycérol 100 % + eau déminéralisée) + verres de montres ;
- la 1^{ière} étuve MEMMERT UN75 (étuve de microtomie) pour ramollir ces petits fragments de densité faible à moyenne ;
- les petits béciers + petits fragments d'1 cm³ d'*E. suaveolens* + le mix (glycérol 100 % + eau déminéralisée) ; la marmite chauffante, pour ramollir les fragments d'espèces ayant une forte densité (*E. suaveolens*) ;
- le microtome + lames de microtomes, pour réaliser les coupes + un niveau pour égaliser la surface à couper ; un pinceau + boîte de pétri, pour récupérer les coupes ; les lames portes objets, pour porter les coupes ; les lamelles couvre objet, pour couvrir les coupes anatomiques ; un microscope pour l'appréciation de la qualité des coupes ; les élastiques et les filets, pour maintenir fixent les coupes ;
- la grille de coloration, pour porter une dizaine de lame lors du processus de double coloration ; un box n°0 (eau déminéralisée), pour éviter la déshydratation des coupes avant le processus de coloration ; un box n°1 (mélange de safranine O + bleue d'alcan), pour la coloration des coupes ; les box n°2 et n°3 (eau déminéralisée), pour rincer deux fois les coupes et éliminer l'excès de colorant ; les box n°4, n°5, n°6 et n°7 respectivement de l'éthanol (50 %, 75 %, 96 % et 100 %), pour la déshydratation des coupes ; quelques gouttes d'Euparal + lamelles couvre objet, pour le montage permanent des coupes ;
- un microscope (Olympus BX60F-3 Tokyo, Japon), équipé d'une caméra digital Olympus modèle UC30 (Olympus U-TVO-5XC-3 Tokyo, Japon) reliée à un ordinateur de grande capacité et contenant le logiciel d'anatomie Cell^B permettant de prendre les photos des coupes à des échelles choisies ;
- des scies manuelles (égoïne, carré, japonaise, à buche, à dos), pour prélever sur chaque rondelle de bois une lamelle de fragment d'1 cm d'épaisseur sur le transect le plus long du fragment de rondelle, et par la suite de découper cette lamelle de fragment de bois en dix (10) petits fragments ; deux étaux (fixe et mobile), pour maintenir fixe les

rondelles de bois lors du prélèvement des fragments de bois et la découpe de ce dernier en 10 petits fragments (étau fixe) ; un ciseau à bois et un maillet en bois, pour affiner les bords des 10 petits fragments ;

- une balance SCLATECSPB53 (maximum 610 g précision 0,01 g), pour la pesée des échantillons à l'état frais (vert) ; la 2nde étuve MEMMERT UN75 (étuve de densité du bois), pour sécher les échantillons ; un béccher contenant de l'eau déminéralisée, pour immerger les échantillons séchés ; une balance KERN₅₇₂ (maximum 12 100 g de précision 0,1 g) au-dessus de laquelle est placé le béccher ; une potence sur laquelle est fixée un bras mobile et au bout de laquelle est fixée une pince, permettant d'immerger les échantillons dans le béccher contenant de l'eau déminéralisée ; un ordinateur, pour prendre les données (masses sèches et masses fraîches) ; le logiciel Rstudio et le tableur Excel pour les analyses statistiques.

II.2. MÉTHODES

II.2.1. Cernes de croissance des arbres

II.2.1.1. Mesure des paramètres dendrométriques

La méthode destructive a été utilisée pour la collecte des paramètres dendrométriques des arbres légalement exploités (Amougou, 2011 ; Amougou *et al*, 2013), dans les AACs 3-3 et 1-3 respectives des deux UFAs : 10 025 et 10 052. La première phase de collecte de ces paramètres s'est déroulée pendant trois semaines en Août 2013. Avec l'aide de l'équipe forêt de la SFIL-GDC, et surtout de l'abatteur et du commis au débardage. Et dans les chantiers d'abattages en cours d'exploitation de l'AAC 3-3. Seuls les arbres ($\emptyset \geq DME$), ceux que la société exploitait, ont été échantillonnés. C'est juste le diamètre à $\pm 1,30$ m du sol ou plus si présence des contreforts sur les arbres échantillons, les diamètres ont été mesurés à l'aide d'un quintuple décamètre. Et ces arbres ont été géo-référencés par un GPS Garming 64st, et avec un appareil photo-numérique les détails importants ont été capturés (tableau. IV).

Tableau IV. Arbres échantillonnés par espèces, dans les chantiers d'abattages de l'AAC 3-3

N°	Coordonnées géographiques		Noms		Paramètre dendrométrique
	Longitude Est	Latitude Nord	commerciaux	Espèces	Ø à ± 1,30 m du sol (cm)
1	449660.093	349882.839	Iroko	<i>M. excelsa</i>	102
2	451818.271	350482.395	Ayous	<i>T. scleroxylon</i>	92,1
3	447018.333	348765.354	Padouck rouge	<i>P. soyauxii</i>	62,1
4	448808.837	350190.663	Sapelli	<i>E. cylindricum</i>	115
5	449853.998	350049.146	Okan	<i>C. gabunensis</i>	65
6	446273.135	347678.963	Doussié	<i>A. bipindensis</i>	85
7	446363.286	347335.03	Tali	<i>E. suaveolens</i>	52
8	452576.055	349207.54	Bété	<i>M. altissima</i>	64
9	446788.563	346409.867	Sipo	<i>E. utile</i>	84

Durant la seconde phase (septembre à novembre 2015), en dehors du DHP, la hauteur du fût (partie marchande de l'arbre) et hauteur totale (partie aérienne de l'arbre) ont été pris.

La méthode destructive a été utilisée pour la collecte de ces paramètres, pendant les activités d'exploitation dans les chantiers d'abattages respectifs de l'AAC 1-3. Avec l'aide de l'équipe forêt de la SFIL-GDC (abatteurs, commis aux débardages, conducteurs de bulldozers D6/D7 et prospecteur). Tous les arbres échantillonnés ont été systématiquement géo-référencés à l'aide d'un GPS Garmin 64st, et la boussole a servi à notre orientation dans les chantiers d'abattage en cas de nécessité. Une fois ces arbres abattus (tronçonneuse STIHL), avec un appareil photo-numérique la capture des images de détails importants (feuilles, fruits, écorce, entaille, exsudat, base de la souche, aspect macroscopique du bois) ont été pris.

Ces paramètres ont été pris avec l'appui de notre personnel local (01 guide et 02 aides de terrain), et en suivant systématiquement les commis aux débardages et les abatteurs pendant leurs tâches quotidiennes (abattages des arbres). Pour chacune des trois espèces *E. cylindricum* ; *E. suaveolens* et *T. scleroxylon* de l'AAC 1-3 choisies, ces mesures ont été prises par de rubans métriques (02 quintuples décamètres et 02 doubles décamètres). Les grands arbres ($\text{Ø} \geq \text{DME}$), circonférence gros bout à $\pm 1,30$ m ou plus (présence d'accotements) juste avant qu'ils ne soient abattus ou après l'abattage (présence d'empattements haut), après l'abattage des arbres exploités, les circonférences (gros bouts et petits bouts) et les hauteurs/longueurs à la première branche inexploitable (HPBi) et les hauteurs/longueurs totales de l'arbre (HT) ont été prises sur les arbres abattus, ceci pour chaque individu échantillonné (table. V).

Tableau V. Arbres échantillonnés par espèces dans l'AAC 1-3.

Espèces	Nombre d'individus	Paramètres dendrométriques		
		Ø gros bout (cm)	H tige (m)	H fût (m)
<i>E. cylindricum</i>	45	116,19 ± 28,57	41,24 ± 8,36	19,60 ± 3,25
<i>E. suaveolens</i>	100	95,40 ± 16,49	35,38 ± 4,73	15,32 ± 3,06
<i>T. scleroxylon</i>	82	111,78 ± 23,62	43,29 ± 6,75	20,86 ± 3,47

HPBi : partie marchande de l'arbre, et HT : partie aérienne de l'arbre, du sol à l'apex terminal ou la plus longue branche (souche, culée, fût ou partie marchande et houppier). Avant le débardage des grumes de ces espèces abattues à l'aide des Bulldozers D6 et D7, qui entraîne la création des routes pour l'évacuation de ces dernières. Q

quelques jeunes arbres ($\text{Ø} < \text{DME}$), des espèces ci-dessus cités sont préalablement identifiés, échantillonnés et filmés sur les projets d'ouvertures des routes, les projets de pistes de débardages et dans les projets de trouées d'abattage (tableau V ; Fig. 13). Une fois ces emprises et rayons connus avec l'aide du commis de débardage et de notre personnel local, et avant l'arrivée des engins lourds et des abatteurs. Ces jeunes arbres sont géo-référencés, les mesures dendrométriques sont prises pour chacune des trois espèces (tableau V ; Annexe 2).



Fig.13. Paramètres dendrométriques et coordonnées "GPS" des arbres : (a) circonférence à 1,30 m de *E. cylindricum*, (b) circonférence à 1,30 m de *E. cylindricum* abattus, (c) hauteur souche de *T. scleroxylon* abattus, (d et e) coordonnées GPS et (f) hauteur totale des arbres abattus.

II.2.1.2. Récolte et préparation des rondelles de bois

La récolte des rondelles pendant ces deux phases de terrain (2013 et 2015), a été couplée à la prise des paramètres dendrométriques. Après la collecte/récolte des rondelles de bois, ces dernières ont été transportées, puis préparées pour les analyses de cernes.

II.2.1.2.1. Récolte des rondelles de bois

Les rondelles de bois de tous les individus précédemment échantillonnés pour la mesure des paramètres dendrométriques (2013) ont été prélevées, et pour quelques uns des grands arbres et la totalité de jeunes arbres (2015).

Durant la 1^{ière} phase, lors de l'abattage des arbres dans les chantiers de l'AAC 3-3, seules les rondelles de grands arbres ($\varnothing \geq \text{DME}$) ont été collectées, ceux que la SFIL exploitait pendant cette période. Une fois l'arbre abattu, une rondelle entière est récoltée au niveau de la base de l'arbre par une tronçonneuse STIHL, cette dernière a été subdivisée en deux moitiés égales et par la suite et chaque moitié est divisée en trois fragments (camemberts) en s'assurant que toutes les parties des rondelles sont prises (de la moelle à l'écorce).

De manière aléatoire un à trois fragments de rondelle sont prises. Un total de 20 rondelles (fragments) des neuf espèces forestières ont été récoltées : dont deux d'*A. bipendensis* (84 cm) ; de *C. gabunensis* (65 cm) ; d'*E. cylindricum* (115 cm) ; d'*E. suaveolens* (52 cm) et de *M. altissima* (64 cm) ; une d'*E. utile* (84 cm) ; et trois de *T. scleroxylon* (92,1 cm) ; de *M. excelsa* (102 cm) et de *P. soyauxii* (65 cm).

Durant la 2^{nde} phase, pour les grands arbres, ceux ayant un DME requis, et que la SFIL exploitait dans l'AAC 1-3. Sur plus quatre-vingt cinq (85) rondelles prélevées à la SFIL-GDC à Ndeng, en élaguant les rondelles ayant les doubles cœur et celles dont les cœurs sont trop excentrés. Les études sur les cernes se sont faites avec la quarantaine (41) rondelles arrivées intactes au MRAC. La répartition de ces rondelles parmi les trois espèces concernées a été la suivante : *E. cylindricum* (11) ; *E. suaveolens* (15) et *T. scleroxylon* (15). Dont les valeurs de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) varient pour de *T. scleroxylon* (31 - 201 cm) ; *E. cylindricum* (26 - 114 cm) ; *E. suaveolens* (30 - 116 cm).

Dans ces parcs à bois, les rondelles de bois des grands arbres ($\varnothing \geq \text{DME}$) ont été récoltées avec l'aide du tronçonneur des parcs à bois, par le biais d'une tronçonneuse, elles ont été récoltées vers la base de la grume (Fig.14.b). Avant le débardage des grumes des arbres abattues à l'aide des Bulldozers D6 et D7, qui entraîne la création des routes pour l'évacuation de ces dernières. Les jeunes arbres identifiés sur les emprises des routes et des rayons des trouées ou les arbres vont tomber.

Ces jeunes arbres sont abattus et les rondelles de bois sont récoltées sur place à $\pm 1,30$ m du sol, dans les chantiers forestiers (Fig. 14.a, c), par les abatteurs et leurs apprentis à l'aide des tronçonneuses. Le débardage de ces petites rondelles de bois (des chantiers forestiers aux parcs à bois) s'est fait avec l'aide des engins lourds (Bulldozers D6 et D7).



Fig. 14. Rondelles de bois dans l'AAC 1-3 : (a) récolte d'une rondelle sur un jeune individu d'*E. suaveolens* dans l'emprise d'une piste de débardage, (b) rondelle d'un grand individu d'*E. suaveolens* dans un parc à bois et (c) rondelle d'un jeune individu d'*E. cylindricum* dans une trouée d'abattage.

II.2.1.2.2. Préparation des rondelles de bois

La préparation des rondelles de bois a nécessité les étapes de : transport, traitement, séchage, ponçage des rondelles de bois et enregistrement au xylarium de Tervuren.

II.2.1.2.2.1. Traitement

Les 1^{ières} rondelles de bois (août 2013) n'ont pas été traitées, par contre les 2^{ndes} rondelles (septembre - novembre 2015) ont été traitées à l'aide du xylamon et du koatsciage pour prévenir l'attaque des insectes xylophages sur le bois et limiter l'apparition des champignons.

II.2.1.2.2.2. Séchage

Les rondelles ont été séchées naturellement dans une salle aérée (labo 139). Celles de 2013 ont été disposées les unes sur les autres et séparées, à l'aide de petits linteaux en bois pour que l'air puisse passer entre les rondelles. Par contre celles de 2015 ont été disposées sur toute la largeur de la salle et régulièrement tournées, pour faciliter le séchage rapide sans fentes et apparition de champignons.

II.2.1.2.2.3. Ponçage

Les rondelles de 2013 ont été usinées pour uniformiser à l'aide d'un robot électrique la surface à poncer, à l'aide d'une ponceuse à meule et des papiers abrasifs de grains 40 à 800 ou 1000 elles ont été poncées à l'atelier de menuiserie. En utilisant un compresseur à air après chaque passage de la ponceuse.

Celles de 2015 ont été usinées et poncées dans la menuiserie du Centre de Formation Professionnel Don Bosco (CFPDB) de Yaoundé, un 2^{ième} ponçage a été réalisé au MRAC pour

affiner autant que possible le ponçage. Au CFPD, les faces des rondelles ont été rabotées à l'aide d'un rabot électrique, pour uniformiser et aplanir les surfaces à poncer. En fonction de la surface à niveler, le robot passe une ou plusieurs fois dans le sens du fil du bois tout en ajustant la pénétration des fers dans le bois, par la suite une ponceuse à meule a été utilisée en changeant progressivement, les numéros de disques/papiers abrasifs (36, 40, 50 et 60). Les rondelles ont été par la suite passées sur une ponceuse à bande avec les papiers vert suivant (100 et 120). Les finitions ont été faites à la main avec des cales à bois et du papiers abrasifs de différents grains (150, 220, 320, 400, 600 et 800).

L'aspirateur a été utilisé pour aspirer les poussières après chaque ponçage. Les rondelles ont été respectivement poncées à la main (24 heures/pièce) et poncées à l'aide d'une ponceuse à bande. Compte tenu du fait que les rondelles de bois ont été entreposées longtemps au labo. 139 à l'UYI. A l'atelier de bois du MRAC, ces dernières ont été poncées une seconde fois, à l'aide d'une ponceuse rotative « Festol » et en changeant progressivement des papiers disques abrasifs des grains les plus grossiers au plus fins 400, 500, 800, 1000 et 1200, ceci dans l'optique de rendre les cernes le plus visible possible et en utilisant simultanément un compresseur à air pour enlever les poussières dans les pores et bien affiner le ponçage.

II.2.1.2.2.4. Enregistrement

Les rondelles de bois (2013 et 2015) avaient à la base un numéro attribué en forêt, tout comme les échantillons d'herbier. Au xylarium du MRAC, ces dernières ont été enregistrées avec des « Twn^o».

II.2.1.3. Analyse des cernes de croissance

L'analyse des cernes a nécessité les trois étapes suivantes : marquage des cernes, numérisation et traitement des transects et enfin anatomie du bois.

II.2.1.3.1. Marquage des cernes de croissance

L'observation et le marquage des limites de cerne des rondelles de 2013 s'est faite durant la 1^{ière} phase de laboratoire, à l'œil nu (1x), avec une simple loupe (2,5x), une loupe PEAK LUPE (10x), et d'un stéréo-microscope Olympus OlympusSZH10 (7–70x). Pour les fragments de rondelles, à l'aide d'un crayon et d'une règle graduée deux transects ont été tracés sur chaque section du fragment, en prenant en compte toutes les parties de la rondelle (moelle à l'écorce). Ces sections ont été mesurées par une règle graduée (tableau VI ; Fig. 14 c, d).

Tableau VI. Nombre de rondelles de bois de la 1^{ère} phase

Nombre de fragment de rondelle de bois	N° Tw	Espèces	Section gauche (cm)	Section droite (cm)
03	Tw65067	<i>M. excelsa</i>	44	38,8
	Tw65068		42,5	43
	Tw65069		37,7	43,5
03	Tw65070	<i>T. scleroxylon</i>	26	30,5
	Tw65071		24,5	23,5
	Tw65072		25,5	25
03	Tw65073	<i>P. soyauxii</i>	28	31
	Tw65074		30,2	30,6
	Tw65075		32,8	29,5
02	Tw65076	<i>E. cylindricum</i>	38,5	37,5
	Tw65077		34	34,5
02	Tw65078	<i>C. gabunensis</i>	31,5	28
	Tw65079		27,5	26,5
02	Tw65080	<i>A. bipindensis</i>	32,5	35,5
	Tw65081		31	31,2
02	Tw65082	<i>E. suaveolens</i>	37,9	35
	Tw65083		28	27,9
02	Tw65084	<i>M. altissima</i>	30	27,6
	Tw65085		26,7	26,3
01	Tw65086	<i>E. utile</i>	31,2	30

Le processus pour les rondelles de bois de 2015 a été le même que celui de la 1^{ère} phase de laboratoire. L'observation et le marquage des limites des cernes ont été faits à l'œil nu (1x), et à l'aide d'un stéréo-microscope Olympus SZH10 (7-70x), et d'un stéréo-microscope Olympus SZ51 (22x4) (Fig. 15 a et b). Sur chaque rondelle, deux (*E. cylindricum* et *E. suaveolens*) (Fig.14. a et b) à trois (*T. scleroxylon*) transects/rayons ont été tracés à l'aide d'un crayon et d'une règle graduée, en prenant en compte toutes les parties de la rondelle (moelle à l'écorce). Les limites des cernes sur chaque transect ont été marqués/numérotés de la moelle vers l'écorce. À tous les cinq cernes numérotés, le 5^{ème} cerne a été marqué par un point. Et à tous les dix cernes numérotés, le 10^{ème} cerne a été marqué par deux points. À chaque série de dix cernes marqués, ces derniers ont été suivis sur toute la circonférence de la rondelle dans l'optique de rechercher les différentes anomalies.



Fig. 15. Marquage des cernes : (a) trois transects marqués d'*E. cylindricum* et (b) vérification des cernes marqués sur *E. cylindricum*.

Durant ce marquage des cernes, le suivi de la continuité des cernes sur les différents transects sur la même rondelle a permis de détecter différentes anomalies par la continuité des cernes : les «missing ring» ou cernes manquants ; les «false ring» ou faux cernes ; les «wedging ring» ou cernes discontinus/partiels/incomplets. Les cernes discontinus/partiels/incomplets se rencontrent généralement chez les espèces à croissance lentes, et dans les zones excentriques des rondelles de bois (Wils *et al.*, 2009 ; De Ridder, 2013 ; Villanueva, 2015).

Ces anomalies ont été bien relevées pour éviter autant que possible les erreurs de marquages. En cas d'anomalies avérées, tous les cernes de cette zone ont été suivis séparément et ces anomalies ont été répertoriées/archivées par espèces et par transect. En cas d'invisibilité d'un cerne en particulier le numéro de ce dernier a été archivé et noté afin de faciliter les corrections durant les analyses des cernes par rondelle. Spécifiquement dans les zones à visibilité réduite des cernes, ces dernières ont été humidifiées à l'aide d'un pinceau et de l'eau déminéralisée afin d'améliorer la visibilité dans ces zones. Les corrections ont été faites sur chaque transect et par rondelle. (Fig. 14 a, b ; tableau.VII).

Tableau VII. Nombre de rondelles de la 2^{ième} phase

Nombre de rondelle de transect/rondelle (nombre de transect/rondelle)	N°Tw	Espèces	Intervalle de Ø (cm)
15 (3)	Tw67112, Tw69249, Tw6950, Tw69254, Tw69255, Tw69258, Tw69259, Tw69274, Tw69262, Tw69263, Tw69282a, Tw69282b (12)	<i>T. scleroxylon</i>	31 - 201
10 (2)	Tw69251, Tw69261, Tw69267, Tw69271, Tw69275, Tw69278, Tw69279, Tw69280 (8)	<i>E. cylindricum</i>	26 - 114
15 (2)	Tw67114, Tw69247, Tw69252, Tw69253, Tw69254, Tw69260, Tw69264, Tw69265, Tw69266, Tw69273, Tw69274, Tw69276, Tw69277, Tw69283, Tw69113 (15)	<i>E. suaveolens</i>	30 - 116

II.2.1.3.2. Numérisation et traitement des transects

La numérisation des rondelles de bois a été l'obtention des fichiers scans de ces derniers, et le traitement de ces transects marqués a consisté à les rendre moins dense et à coller si nécessaire les fichiers scans des transects divisés.

II.2.1.3.2.1. Numérisation

Les rondelles (fragments) de la 1^{ière} phase ont été numérisées sur un scanner Canon type CanonScanLider700F et un photocopier Canon de marque IR 8700 relié à un ordinateur, pour les grandes rondelles la section n°1 du transect marqué était du côté de la moelle et la section n°2 du côté écorce. Pendant ce processus, près de tous les transects à scanner une règle graduée a été placée près de la rondelle pour servir d'échelle. Les scans ont été enregistrés dans le dossier dédié, comme suit : n°Tw65067_trans._1 et n°Tw65067_trans._2, la résolution étant de 600 DPI et les fichiers scans enregistrer en «TIFF».

Les rondelles de la 2^{ième} phase ont été numérisées à haute résolution à l'aide d'un scanner Epson Expression 11000XL et d'un ordinateur de très grande capacité, et par le biais du programme photographique « SilverFast 8.2 ». La résolution étant de 1200 DPI « Dot Per Inch. » ou Point Par Pouce (soit 1200 pixels par pouce).

Le protocole a été le suivant, démarrer d'abord les appareils (ordinateur et scanner) dans l'ordinateur ouvrir SilverFast 8.2, et toujours s'assurer qu'au niveau du « Nom », a été introduit le Tw n° et celui du transect. S'assurer ensuite que les images numérisées ont été enregistrées sous la forme «TIFF» et enfin choisir le dossier d'enregistrement des scans dans le «chemin». Personnalisé dans le «Format», choisir la «prédéfiniion» de la qualité de la photo 300 ppp et

choisir au niveau de la «résolution» 1200 DPI. Avec l'aide du rectangle rouge, encadrer/sélectionner toute la surface de la rondelle qui s'affiche sur l'écran et cliquer sur «Pré-numériser», en s'assurant que le transect est bien vertical (fig. 16.a). Par la suite toujours avec l'aide du rectangle rouge, encadrer/sélectionner juste le transect marqué et ses abords immédiats puis cliquer sur «Numériser» pour sauvegarder le scan (fig. 16.b).

Les petites rondelles ont été posées directement sur le scanner. Pour les grandes rondelles, les faces ont été posées au-dessus de deux barres disposées sur les deux longueurs du scanner. Ces barres supportant la totalité du poids des rondelles et facilitant le coulissage du scanner en dessous, permettant de ne pas l'abîmer. Une fois les rondelles disposées sur le scanner, s'assurer que le transect à numériser a été le plus vertical possible. Dans le cas où le transect ne peut être numérisé en totalité, ce dernier a été numérisé en deux sections différentes (section n°1 - moelle et section n°2 - écorce). Les scans résultant étant enregistrés sous «TIFF», ces scans ont été enregistrés suivant la procédure citée plus haut, dans un dossier préalablement créé sur l'ordinateur (Fig. 16 a, b).

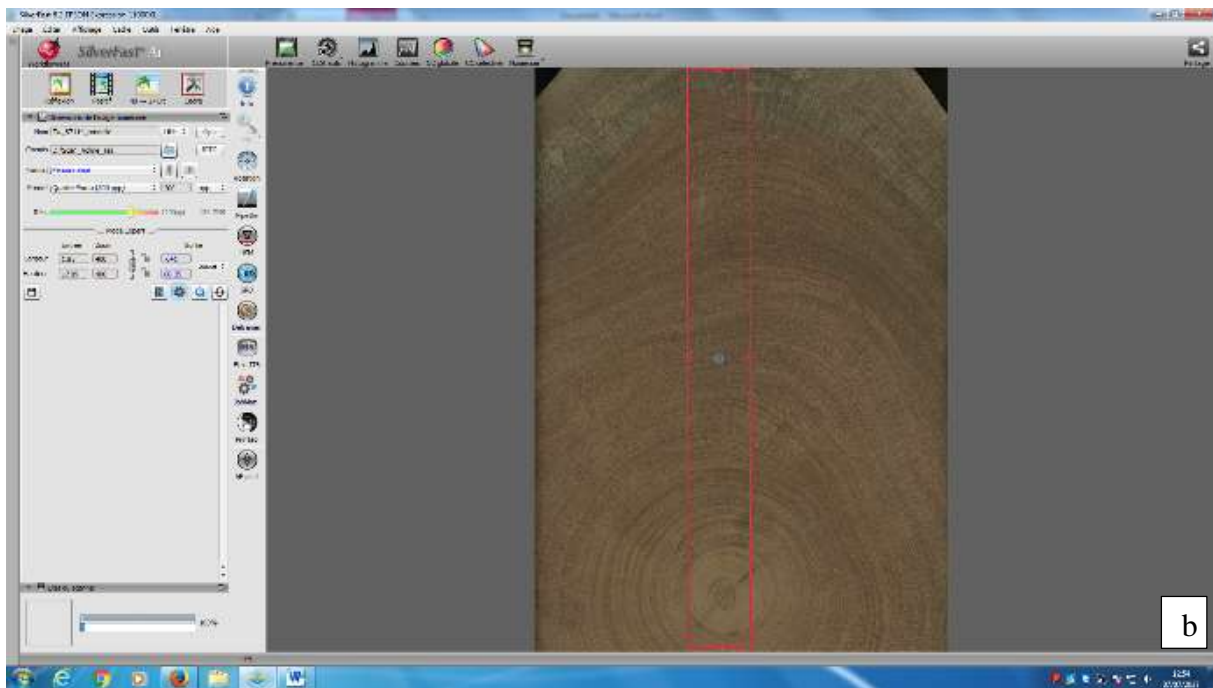
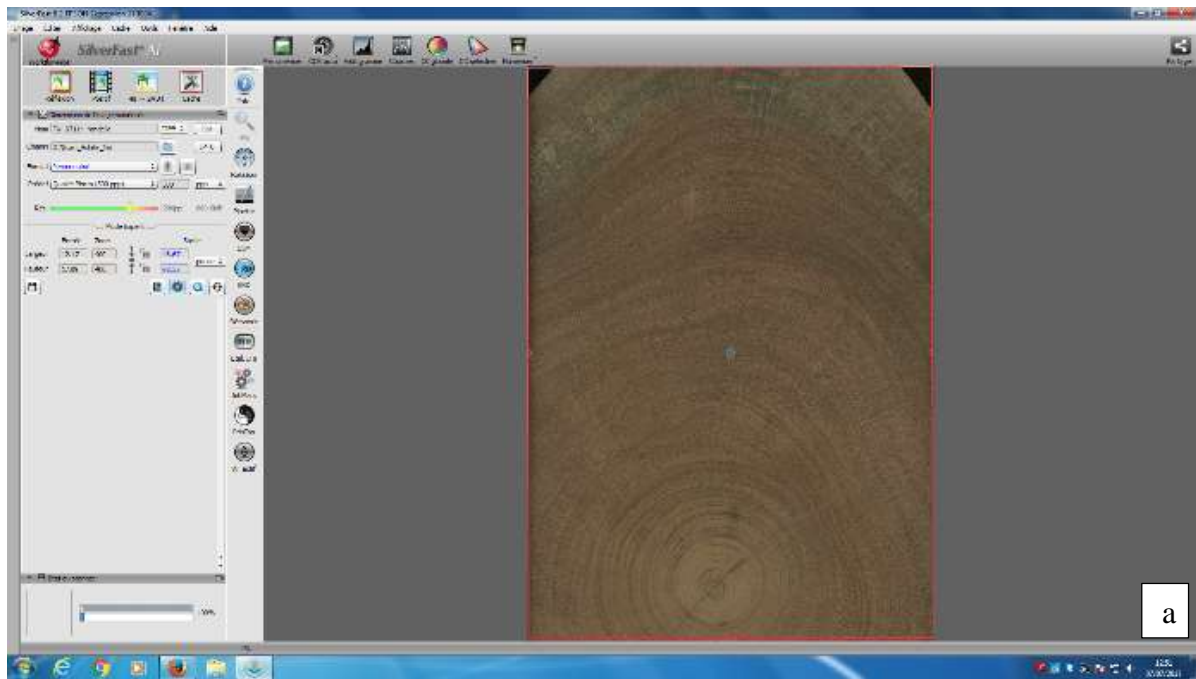


Fig. 16. Numérisation des transects de cernes, cas de Tw_67117 d'*E. suaveolens* : (a) prénumérisation de toute la surface; (b) numérisation du transect et ses environs immédiats.

II.2.1.3.2.2. Traitement des transects sur Fiji et Mosaic J

Les fichiers scans de la 1^{ière} phase au MRAC n'ont pas nécessité de traitement particulier, la seule précaution prise a été de retenir un cerne témoin sur les deux sections du transect et en fonction de ces derniers qui servent de références, de faciliter les mesures ultérieures.

Par contre les fichiers scans de la 2^{ième} phase ont nécessité un affinage pour garder juste le transect ou les sections de transects avec Fiji et un collage des différentes sections du même transect avec Mosaic J.

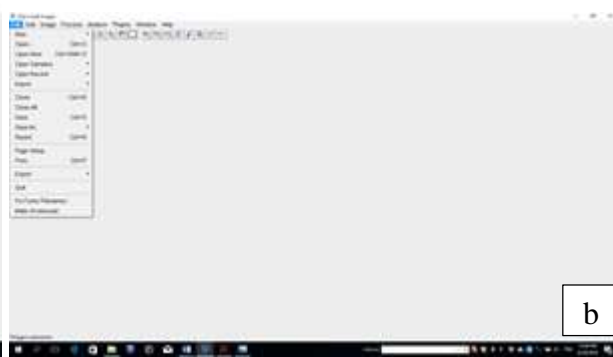
II.2.1.3.2.2.1. Fiji

Les scans obtenus par le processus ci-dessus lors de la 1^{ière} phase, ont été traités par Fiji/Image J. pour affiner le transect marqué, et juste avoir le transect et ses environs immédiats, afin de faciliter le reste du traitement dendrochronologique.

La 1^{ière} étape comprend les sous étapes suivantes : ouverture de Fiji (fig. 17.a), cliquer sur « File » (fig. 17.b). Sur la liste de sous options qui s'affiche, cliquer sur « open » (fig. 17.c) et faire le choix du transect à traiter dans le dossier des scans dans l'ordinateur (fig. 17.d). Le transect s'affiche (fig. 17.e), cliqué sur « Image » (fig. 17.f), et sur la liste des sous options qui s'affiche, cliqué sur « transform » (fig. 17.f). Sur la liste des options qui s'affiche, choisir « Rotate 90 Degrees Righth » ou « Rotate 90 Degrees Left » (fig. 17.f). Le fichier scan tourné dans le bon sens, du transect choisi apparaît (fig. 16.g), suivre de nouveau le chemin « Image » « transform » et « rotate » (fig. 17.h). Choisir une valeur pour « angle degree », et une valeur « Grid line » et dans l'option « Interpolation » choisir «bilinear » (fig. 17.i, j, k et l). Et cliquer sur « Preview » (fig. 17.j, k et l), ceci en s'assurant que le transect marqué soit le plus horizontal possible (fig. 17.k et l).



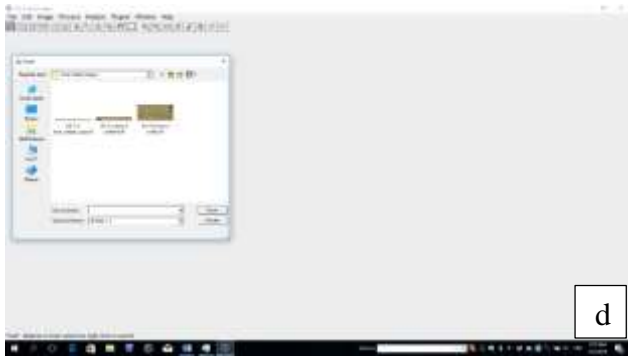
a



b



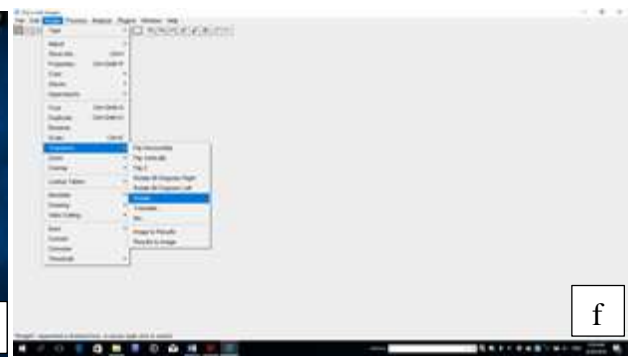
c



d



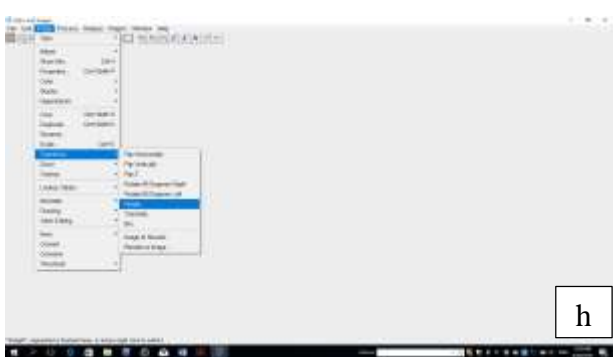
e



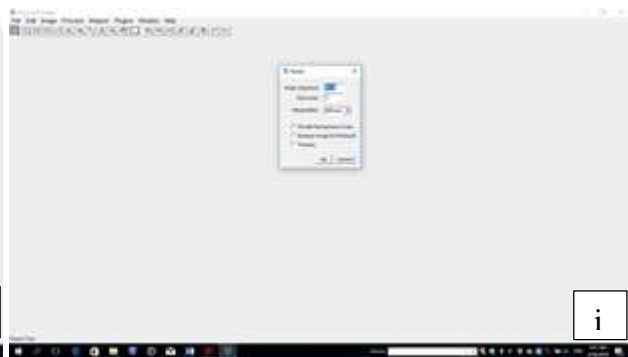
f



g



h



i

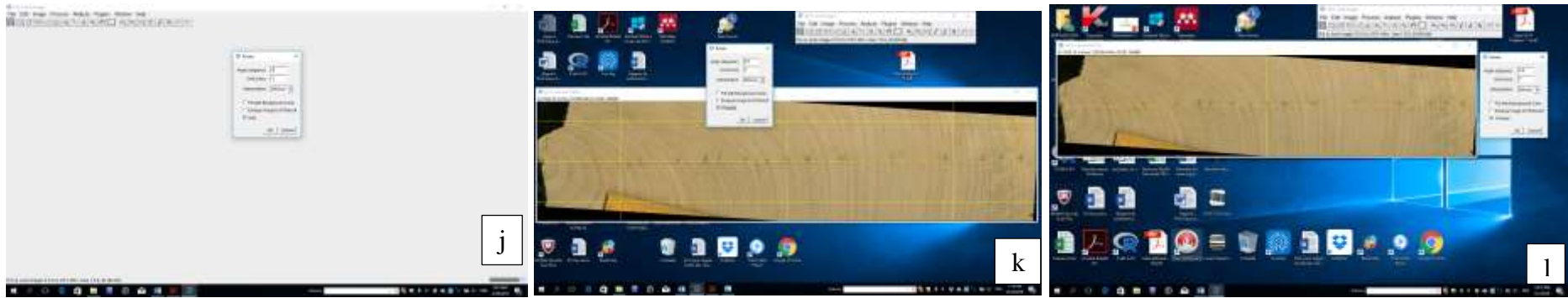


Fig. 17. Traitement des transects avec "Fiji" lors de la 1^{ère} phase : (a) ouverture ; (b) sélection de la fonction fichier ; (c) sous fonction ouvrir dans la fonction fichier ; (d) choix du transect à traiter ; (e) transect téléchargé ; (f) fonction image, de la sous fonction transformer et de la sous sous fonction rotter 90° à gauche ou à droite ; (g) scan tourné dans le bon sens ; (h) fonction image, de la sous fonction transformer et de la sous sous fonction rotter ; (i, j, k et l) choix de l'aperçu et (k et l) transect le plus horizontal possible.

Durant la 2nde étape, les sous étapes ont été les suivantes : sélection du transect marqué et ses environs sur Fiji, cliquer sur le carré dans la barre des icônes et sélectionner toute la section, elle doit être la plus fine possible pour réduire autant que possible les problèmes de visibilité par la suite (fig. 18.a) ; aller sur « Image » (fig.18.b), sur la liste des options qui s'affiche, choisir « crop » (fig. 18.b) ; c'est juste la partie présélectionnée précédemment qui s'affiche (fig. 18.c) ; aller sur «File» (fig. 18.d) et sur la liste des options qui s'affiche, choisir «save as» (fig. 18.d) ; enregistrer le scan traité choisir sur la liste des options qui s'affichent le format du fichier en «TIFF» (fig. 18.d) ; au préalable, créer un nouveau fichier, pour enregistrer les nouveaux fichiers, ceci en conservant la numérotation des ces derniers (Tw_67114-crop-rotate). Dans le cas où le transect est divisé en deux, lors de l'enregistrement la partie de la moelle et celle de l'écorce ont été enregistrées avec le même numéro mais en ajoutant (a) à la première et (b) à la seconde partie (Schneider *et al.*, 2012).

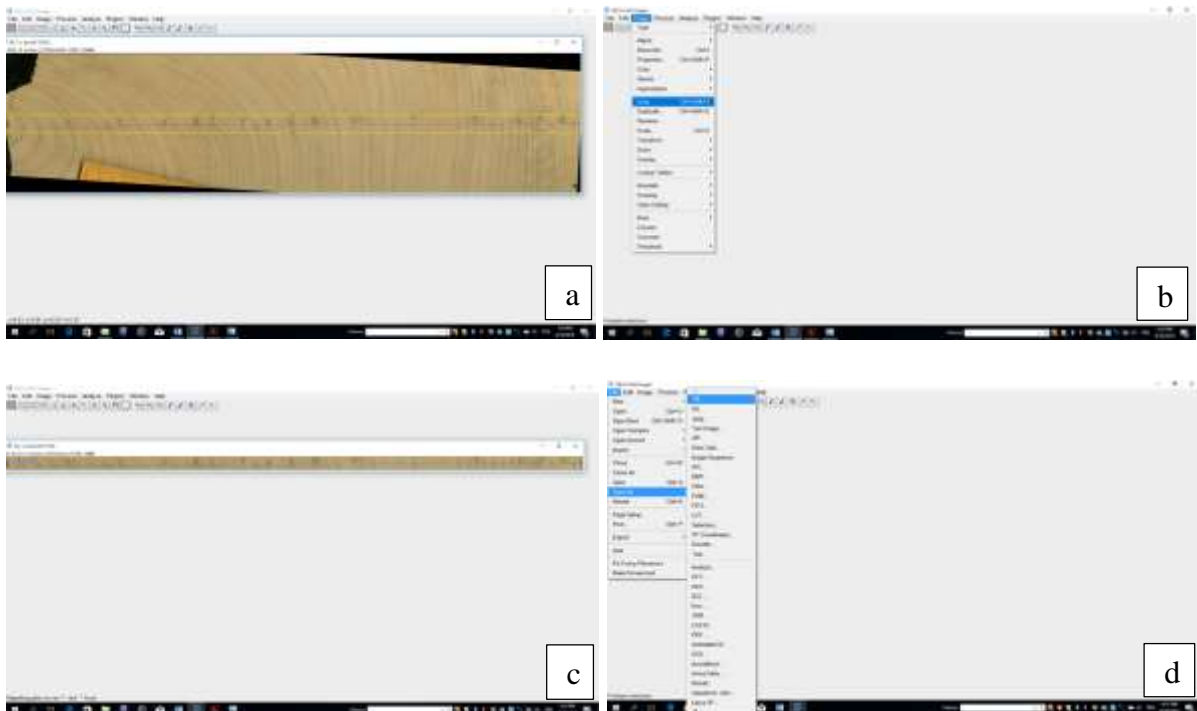


Fig. 18. Traitement des transects des cernes avec "Fiji" lors de la 1^{ère} phase : (a) transect et ses environs à l'aide du carré de la barre des icônes ; (b) fonction image, puis de la sous fonction crop ; (c) transects affinés, (d) fonction fichier, puis de la sous fonction sauvegarder comme, enfin de la sous fonction type de fichier TIFF.

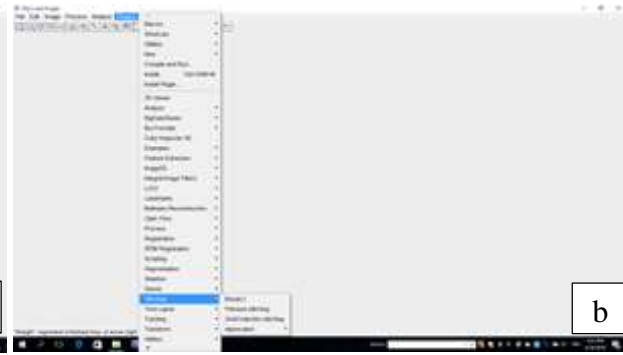
Le collage des sections d'un même transect dans Mosaic J a été le suivant : cliquer sur l'onglet «Plugins» (fig. 19.a) puis sur la liste des éléments qui s'affichent, cliquer sur «Stiching» (fig. 19.b) ; cliquer sur «Mosaic J» (fig. 19.c), pour ouvrir et afficher cette interface (fig. 19.d), le choix des différentes sections d'un transect a été fait de la même manière.

Pour choisir la section n°1 du transect ou scan n°1, cliquer sur «File» ensuite sur «open image» (fig. 19.e) ; choisir le fichier scan en question dans le dossier (fig. 19.f), cliquer dessus il s'affiche par la suite sur la partie inférieure de l'interface (fig. 19.g) ; cliquer sur cette image, elle remonte sur la partie supérieure de l'interface (fig. 19.h) ; réduire ou agrandir la taille de cette image en fonction des besoins, cliquer sur «scale» et par la suite sur «Minify» ou «Magnify» (fig. 19. i et j).

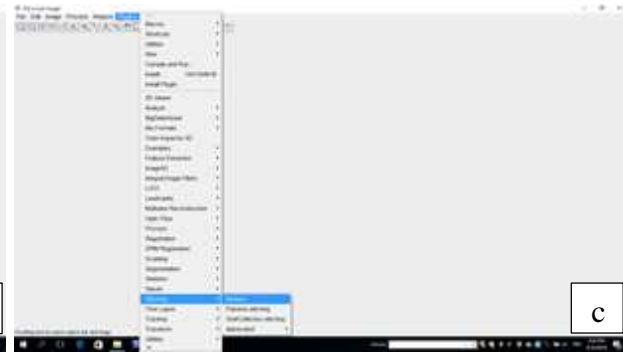
Pour la section n°2 du transect ou scan n°2, reprendre le même processus avec (fig. 19.e, f, g, h et i) ; cliquer sur le scan (image 2) qui s'affiche sur la partie inférieure de l'interface (fig. 19.k), cette image 2 remonte sur la partie supérieure de l'interface (fig. 19.l) ; réduire ou agrandir les images si nécessaire (fig. 19.i, m et n) et s'assurer que la zone «overlap» ou zone de jonction entre les deux sections soit réduite, afin de faciliter la jointure parfaite des deux sections du transect (fig. 19.n) ; avec les quatre flèches de direction (appuyer sur Ctrl et jouer avec ces flèches) et la souris de l'ordinateur, jouer avec les deux sections pour pouvoir faire correspondre le plus justement possible les limites des cernes sur la zone de jonction (fig. 19.o) ; sauvegarder les scans des transects collés, cliquer sur «save Promosaic J», pour avoir un aperçu préalable et ensuite si ce résultat est bon, cliquer «save Mosaic J» pour la sauvegarde (Thévenaz *et al.*, 2007).



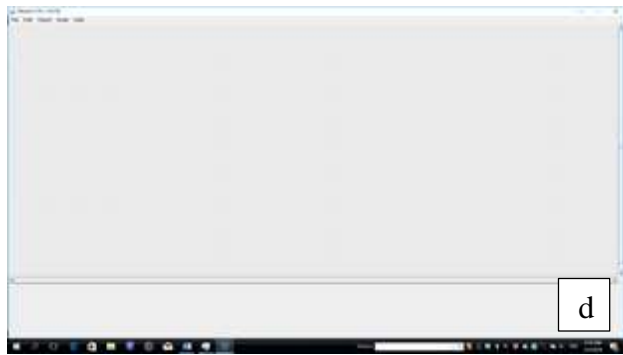
a



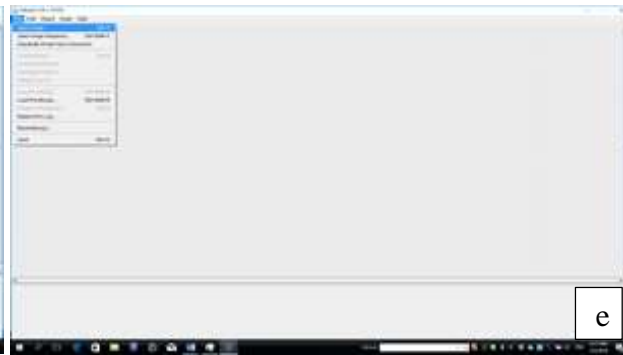
b



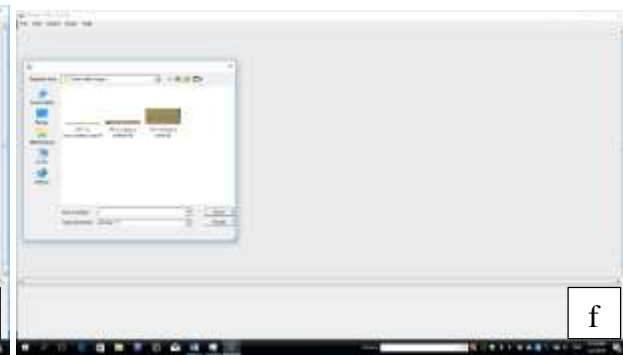
c



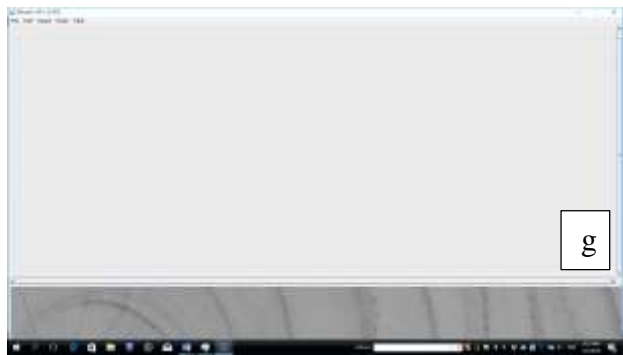
d



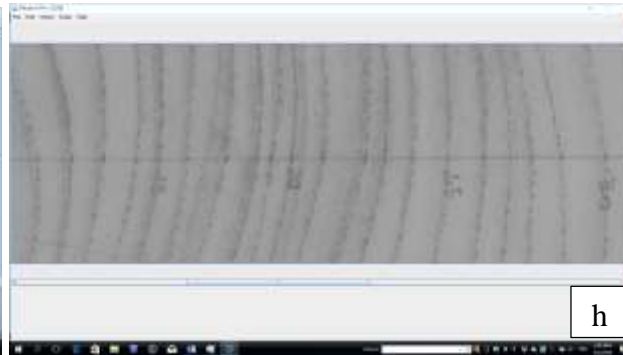
e



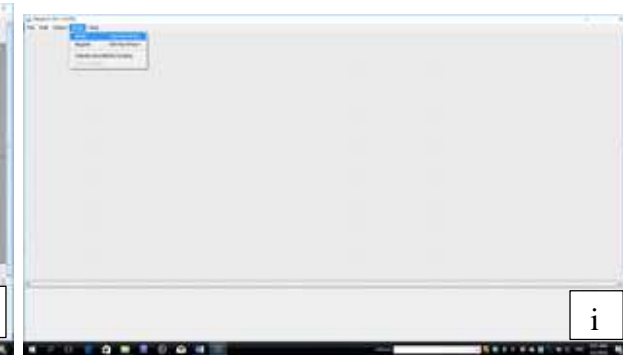
f



g



h



i

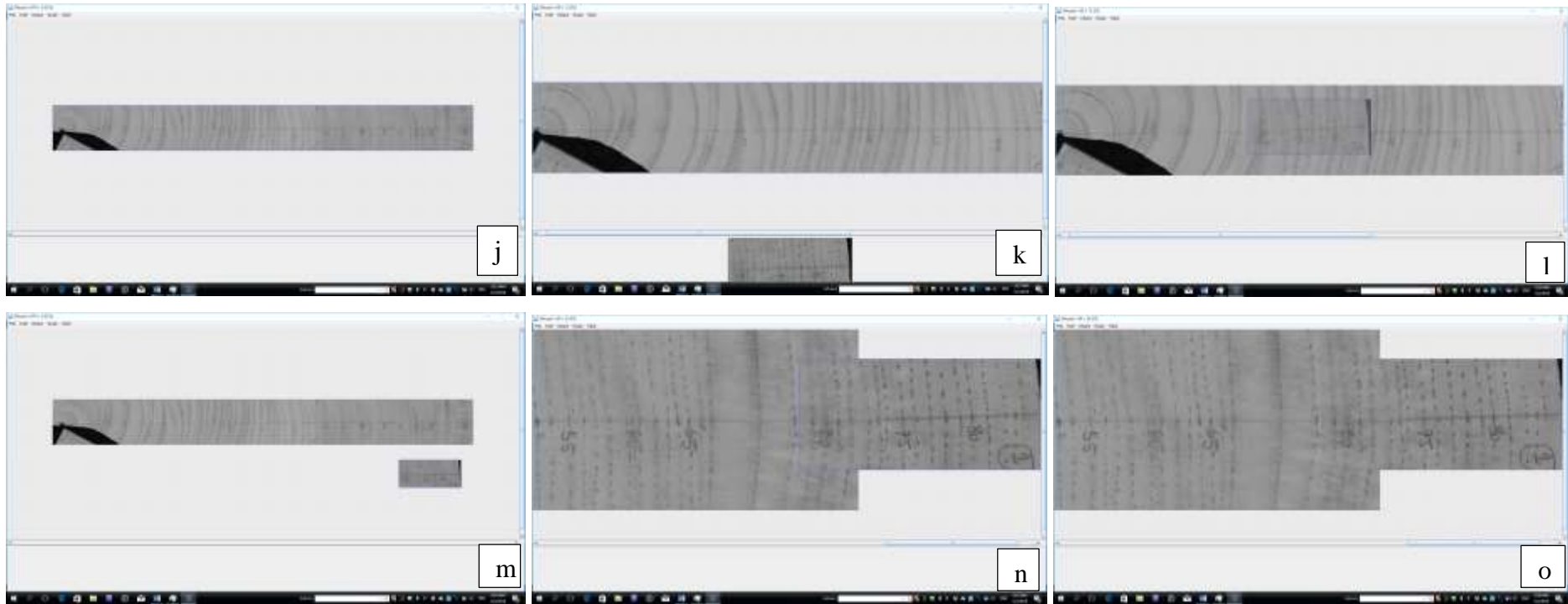


Fig. 19. Collage/jonction des transects avec Mosaic J lors de la 2^{ième} phase : (a) sélection de la fonction "plugins"; (b) sélection de la sous fonction "Stiching"; (c) sélection de la sous sous fonction Mosaic J ; (d) ouverture de l'interface; (e) étapes du choix des sections du même transect ; (f) choix des sections ; (g) ouverture de la section 1 dans l'interface inférieure ; (h) ouverture de la section 1 dans l'interface supérieure ; (i) agrandissement/réduction ; (j) réduction de la section 1 ; (k) ouverture de la section 2 dans l'interface inférieure ; (l) ouverture de la section 2 dans l'interface supérieure ; (m) réduction des deux images pour faciliter le collage ; (n) jonction fidèle des deux sections du transect en respectant la zone « overlap » et (o) affinage de la jonction fidèle des deux sections du même transect.

II.2.1.3.3. Anatomie du bois

Le processus d'anatomie du bois s'est fait dans les ateliers de biologie du bois du MRAC-Tervuren. Et ceci était fonction des deux phases de laboratoire.

II.2.1.3.3.1. 1^{ère} phase de laboratoire

Durant la 1^{ère} phase pour chacune des neuf espèces étudiées, les recherches ont été faites dans la base de données internes (xylarium du MRAC) et en ligne (inside wood, Kew botanical garden...). Les coupes de ces espèces ont été choisies en fonction de leurs lieux d'origine (Afrique Centrale puis Cameroun). Ces coupes ont été recherchées dans la xylothèque du MRAC et observées au microscope, puis caractérisées, dans l'optique de bien caractériser sur le plan anatomique l'aspect des limites de cernes.

II.2.1.3.3.1.1. Recherche des coupes

Dans les bases des données du MRAC et en fonction des noms scientifiques précédents et leurs équivalents actuels (nom de l'espèce, genre et famille), un premier tri a été fait pour avoir les coupes par espèces. Le second tri a été nécessaire, pour l'obtention des espèces de l'Afrique centrale en particulier celles du Cameroun.

Enfin à la lumière des résultats de toutes les coupes qui apparaissent avec leurs numéros de Tw « Tw n° ». Puis se rendre à la xylothèque avec ces listes en fonction des espèces, pour sortir de cette dernière toutes les coupes disponibles par espèces. Dans un second temps, par espèce les mêmes recherches ont été effectuées dans les bases de données d'autres xylothèques dans le monde, entre autre celle de Kew pour comparer les coupes par espèce. Et enfin celle d'« Inside Wood » pour affiner les recherches sur ces coupes et bien caractériser la limite des cernes.

II.2.1.3.3.1.2. Observation et caractérisation

Les coupes disponibles par espèce ont été observées, à l'aide d'un microscope pour réaliser le dernier tri et affiner la qualité des coupes à retenir. Les coupes disponibles avaient généralement la face transversale, radiale et tangentielle et parfois une macération était disponible (Fig. 20.a). Seule la face transversale était utile pour la caractérisation des limites de cernes, les échantillons par espèces qui avaient les meilleures coupes transversales possibles ont été retenus pour la caractérisation. À l'aide des clés d'identification disponibles, et d'un microscope « Olympus » (Schmitz, 2010c) surmonté d'une caméra « Sony » et relié à un ordinateur ayant le programme d'analyse Cell^B (Fig. 20.b). Ceci, en prenant les notes utiles pour chaque coupe.



Fig. 20. Caractérisation des coupes de la 1^{ière} phase : (a) plaque des coupes transversales (Tv), tangentielles (Tg), radiales (Rd) et partie vide macération (Ma) ; (b) ordinateur ayant le logiciel Cell^B relié à un microscope surmonté d'une caméra.

II.2.1.3.3.2. 2^{ième} phase de laboratoire

La caractérisation des limites anatomiques des cernes des trois espèces, de la 2^{nde} phase a été constituée des étapes suivantes : prélèvement de petits fragments de bois ; ramollissement de ces fragments ; réalisation des coupes au microtome et coloration/montage/capture d'image.

II.2.1.3.3.2.1. Prélèvement des fragments cubiques de bois

Les rondelles précédemment poncées sur une des faces pour le marquage des cernes, ont été maintenues immobiles sur deux étaux (mobile et fixe). Par différentes scies manuelles (égoïne, carré, japonaise à buche et à dos...), de petits fragments cubiques de 1 cm³ ont été prélevés. Les bordures de ces derniers ont été affinées par un maillet et de ciseaux à bois.

II.2.1.3.3.2.2. Ramollissement des fragments cubiques de bois

Les bois frais se tranchent plus aisément que les bois secs, qui nécessitent au préalable d'être ramollis, ceci en fonction de la densité/dureté du bois. Au laboratoire d'anatomie du bois, a été préparé un mélange (mix) de glycérol 100 % + eau déminéralisée dans les proportions 1/2, ce mélange servant à éviter la déshydratation des échantillons.

Pour les espèces à densité faible *T. scleroxylon* ou moyenne *E. cylindricum*, ces fragments cubiques ont été introduits dans de petits erlenmeyer, le mélange a été versé afin que ces derniers soient complètement immergés. Ces erlenmeyers ont été fermés par de petits verres de montres, et enfin ces derniers ont été introduits dans l'étuve de microtomie à 60° C pendant 48 heures. Pour l'espèce à forte densité *E. suaveolens*, ces fragments cubiques ont été introduits dans de petits béciers, le mélange a été versé afin que les fragments soient immergés, ensuite les béciers ont été introduits dans une marmite chauffante, puis porté à ébullition à 150 °C pendant 31 jours.

II.2.1.3.3.2.3. Réalisation des coupes au microtome

Les blocs cubiques de 1 cm³ ont été placés sur le microtome HM 440 E microm Laborgeräte GmbH Germany (Fig. 21). La section transversale étant disposée au-dessus, puis ont été coupés finement sur cette section. L'intervalle standard de réglage de l'épaisseur des coupes étant de 14 à 20 µm, et l'épaisseur idéale variant de 14-15 µm.

De manière pratique pour faire ces coupes, le petit fragment de 1 cm³ a été fixé fermement entre les mâchoires de l'étau du microtome, la face à trancher étant positionnée dans un plan parallèle au plan de déplacement du couteau. Un niveau à eau a été placé sur la surface à couper, et par les boutons du microtome (haut-bas ; gauche-droite), en s'assurant que la bulle d'air du niveau est toujours au milieu dans les deux sens. Des coupes grossières ont été réalisées afin de niveler la surface de l'échantillon à couper. Déplacer le couteau sur la glissière par un mouvement sec de va et vient qui forme un angle avec un des côtés de la section à trancher, afin d'attaquer progressivement le bois (lame toujours tranchante).

Pendant la réalisation des coupes, stocker les meilleures coupes dans le bac du microtome contenant de l'eau déminéralisée. Choisir les meilleures coupes (complètes et fines) à l'aide du microscope. Récupérer ces coupes par le biais d'un pinceau humide et déposé dans un verre de montre (ou boîte de pétrie), pour la coloration et l'observation.



Fig. 21. Microtome "Microm HM440E"

II.2.1.3.3.2.4. Montage/coloration/observation et images

Les deux à trois meilleures coupes ont été choisies à l'aide d'un microscope (Schmitz, 2010c) et placées sur une lame porte objet et couverte par un tissu filtrant en nylon de 100 µm (Fig. 22.a) et maintenues fixe par deux élastiques de chaque côté de la lame (Fig. 22.b).

Les lames prêtes ont été par la suite placées dans une grille de coloration (10 lames) et maintenues dans le box n°0 (eau distillée ou déminéralisée), pour éviter la déshydratation des coupes, pendant la préparation des autres coupes. La grille de coloration contenant les coupes

est immergée pendant cinq (5) minutes dans le box n°1 (mélange de safranine O + bleue d'alcian : dissoudre 0,35 g de safranine O dans 35 ml d'alcool à 50 % dans une petite bouteille ; dissoudre 0,65 g bleue d'alcian dans 65 ml d'eau distillée dans une autre petite bouteille, mélanger et bien mixer, les deux solutions), pour la coloration proprement dite. La grille est ensuite immergée successivement dans les box n°2 et n°3 (eau distillée), pour rincer deux fois et éliminer l'excès de colorant. Puis introduite, pendant trois (3) minutes respectivement dans les box n°4, n°5, n°6 et n°7 (éthanol respectivement à 50, 75, 96 et 100 %), afin d'éliminer l'excès de colorant non fixés aux coupes et de les déshydrater (Fig. 22 c et d).

Après ce processus de coloration, les élastiques et les filets ont été retirés des lames (si les coupes adhèrent au filet, ajouter quelques gouttes d'éthanol 100 % pour les détacher). Pour le montage permanent des coupes, quelques gouttes d'Euparal (Carl Roth Gwbn + Co. KG., Karlsruhe, Germany) ont été déposées au bord de la lame porte objet, et les coupes ont été délicatement couvertes avec la lamelle couvre objet (Jansen *et al.*, 1998 ; Schimtz, 2010d ; Gärtner *et al.*, 2015).

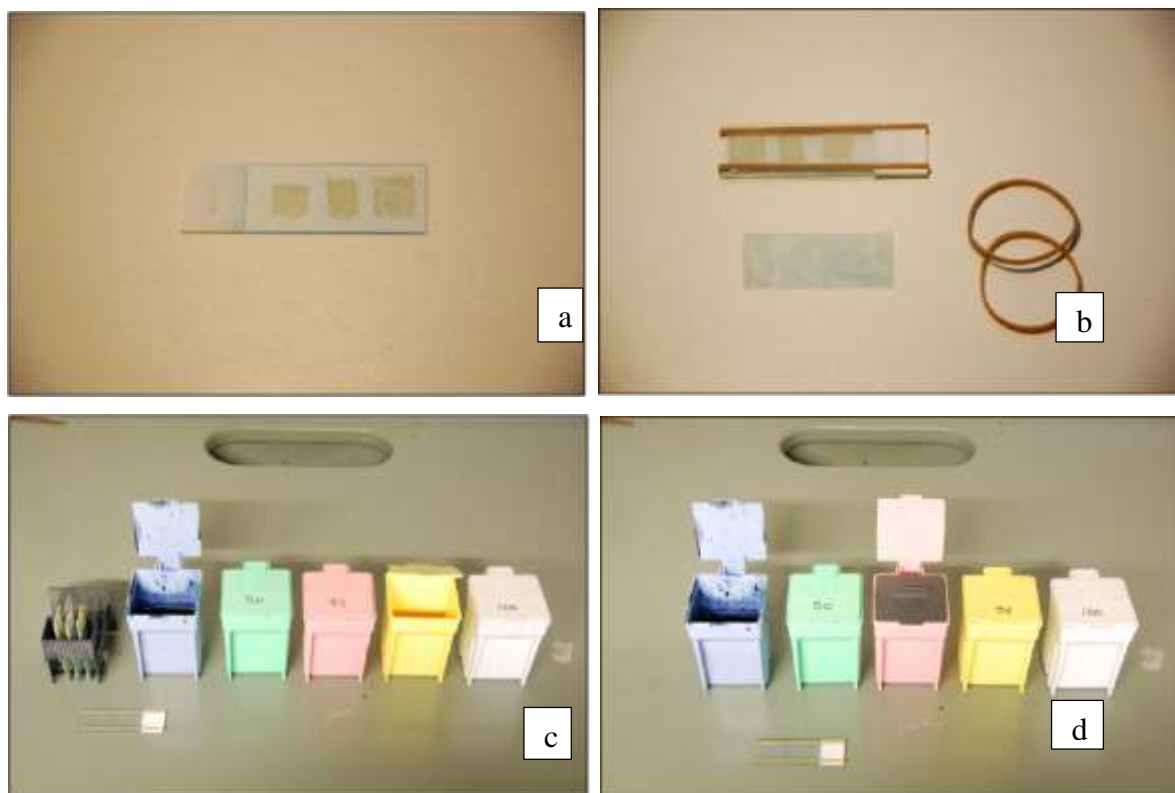


Fig. 22. Montage et coloration des coupes : (a) coupes sur la lame porte objet, (b) tissu filtrant en nylon au-dessus des coupes et fixé par des élastiques, (c) grille de coloration immergée dans le box n°1 (d) grille de coloration est immergée dans une série de box n°4, n°5, n°6 et n°7.

II.2.1.3.3.2.5. Observation et capture des images avec Cell^B

Les observations ont été faites, au microscope (Olympus BX60F-3 Tokyo, Japon) (Schmitz, 2010c), équipé d'une caméra digital Olympus modèle UC30 (Olympus U-TVO-5XC-3 Tokyo, Japon) (Fig. 23.a). Les images des coupes anatomiques ont été obtenues par ce microscope, cette caméra digitale et le logiciel « Cell^B ».

Mettre l'ordinateur contenant Cell^B en marche, ouvrir Cell^B et allumer le microscope (Fig. 23.d). Sur Cell^B aller sur caméscope, ajuster la coupe sur le microscope en s'assurant que l'image est nette et bien visible, et toujours s'assurer que l'objectif est (4x ou 10x). Bien faire la mise au point sur Cell^B, puis cliquer sur «Set ROI for white balance» ajuster la couleur blanche d'un vaisseau. Cliquer sur camera, puis prendre les photos et aller sur « file » puis «save as», choisir le dossier et enregistrer en fonction du Tw n° et du grossissement.

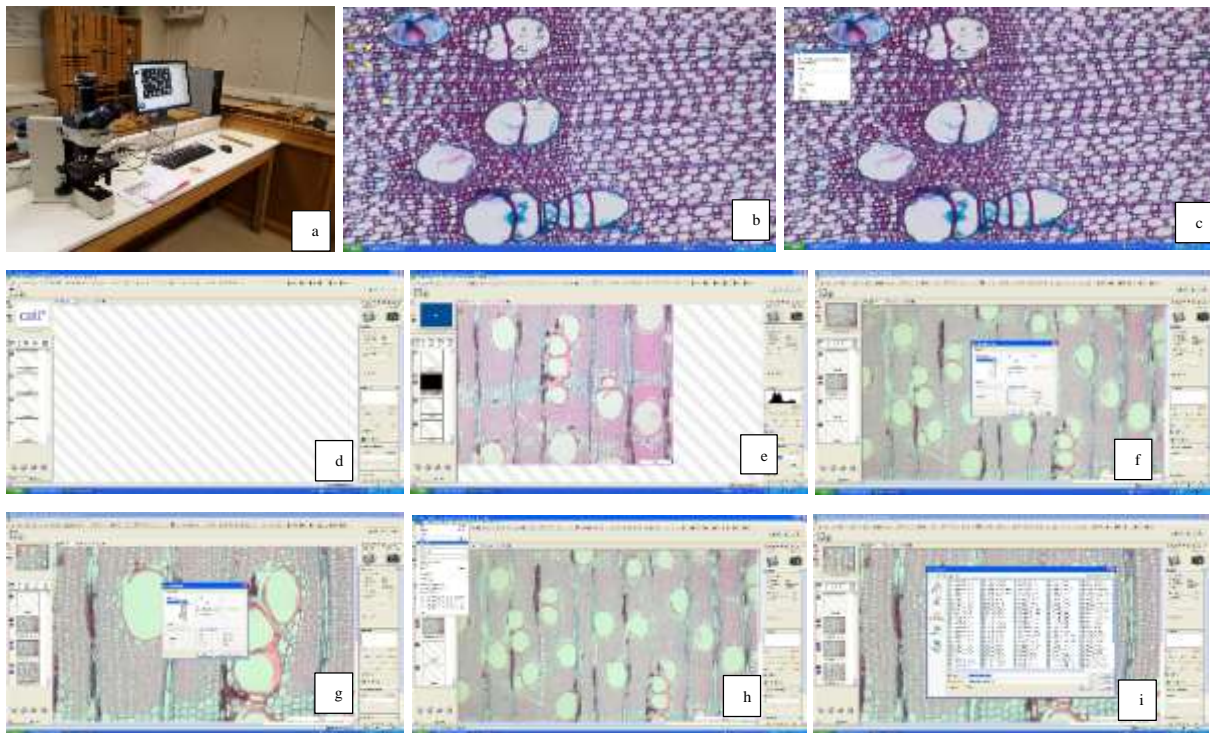


Fig. 23. Images des coupes sur Cell^B : (a) montage de la coupe sur un microscope équipé d'une caméra digitale et relié à un ordinateur, (b) capture d'écran du moniteur, (c) ouverture de Cell^B, (d) présentation de Cell^B, (e) présentation de la coupe sous Cell^B, (f) processus d'enregistrement objectif 4x et échelle 500, (g) enregistrement objectif 10x et à échelle 200, (h) enregistrement en « Tiff », (i) choix du dossier d'enregistrement de l'image anatomique.

II.2.1.4. Limites de cernes macro- / microscopiques

II.2.1.4.1. 1^{ière} phase de laboratoire

Macroscopiquement sur les rondelles de bois poncées, durant le marquage des cernes. En fonction des problèmes possible d'identification des cernes, le potentiel d'analyse a été

catégorisé : élevé (++) , bon (+) , possible (+/-) , faible (-) et pas possible (--). Ce potentiel est basé sur la présence et la visibilité des limites des cernes de cette étude, mais aussi sur les précédentes études sur les cernes pour les mêmes espèces ou les congénères.

Microscopiquement les caractéristiques anatomiques des limites des cernes distinctes ont été classées en quatre types : (A) variation de la densité du bois, (B) bande de parenchyme marginale, (C) motifs de bandes alternées de parenchyme et fibres, (D) variation de la densité ou de la taille des vaisseaux, enfin une combinaison de deux, trois ou toutes ces caractéristiques comme proposé par (Coster *et al.*, 1927 ; Détienne 1989 ; Alfonso *et al.*, 1989 ; Worbes, 1995 ; Worbes et Fichtler (2010) (tableau VIII).

Tableau VIII. Caractéristiques des limites des cernes des * quatre des espèces du séjour 1 : N°Tw ; caractéristiques anatomiques ; difficultés ; nombre de transects/arbre ; visibilité de cerne

Espèces	N°Tw	Caractéristiques anatomiques des limites de cerne	Difficultés	Arbre /transects	Visibilité
<i>A. bipendensis</i>	Tw69080, Tw69081.	-----	-----	1(4)	+
<i>C. gabunensis</i>	Tw69078, Tw69079	-----	-----	1(4)	-
<i>E. cylindricum</i> *	Tw69076, Tw69077.	-----	Cernes discontinus	1(4)	++
<i>E. utile</i>	Tw69086.	-----	-----	1(2)	+
<i>E. suaveolens</i>	Tw69082, Tw69083.	-----	-----	1(4)	+/-
<i>M. altissima</i> *	Tw69084, Tw69085.	-----	Cernes discontinus	1(4)	++
<i>M. excelsa</i> *	Tw69067, Tw69068, Tw67069.	-----	Cernes discontinus	1(6)	+
<i>P. soyauxii</i>	Tw69073, Tw69074, Tw69075.	-----	-----	1(6)	+/-
<i>T. scleroxylon</i> *	Tw69070, Tw69071, Tw69072.	-----	Cernes discontinus	1(6)	++

II.2.1.4.2. 2nde phase de laboratoire

De la même manière, les trois espèces ont été caractérisées (macro-/macroscopiquement).

Tableau IX. Caractéristiques des limites des cerne des trois espèces du séjour 2

Espèces	N°Tw	Caractéristiques anatomiques des limites de cerne	Difficultés	Arbres/t transects	Visibilité
<i>E. cylindricum</i>	Tw69251, Tw69261, Tw69267, Tw69271, Tw69275, Tw69278, Tw69279, Tw69280,	A, B, C	Cernes discontinus, cernes étroits ou peu clairs	8 (16)	++
<i>E. suaveolens</i>	Tw67114, Tw69247, Tw69252, Tw69253, Tw69254, Tw69260, Tw69264, Tw69265, Tw69266, Tw69273, Tw69274, Tw69276, Tw69277, Tw69283, Tw69113.	A, B	Cernes discontinus, cernes vagues à certaines portions	15 (30)	+ -
<i>T. scleroxylon</i>	Tw67112, Tw69249, Tw6950, Tw69254, Tw69255, Tw69258, Tw69259, Tw69274, Tw69262, Tw69263, Tw69282a, Tw6928.	B	Cernes discontinus, faux cernes	12 (36)	++

II.2.1.5. Mesure de l'épaisseur des cernes et «cross dating»

La mesure de l'épaisseur (largeur) de cernes a été faite avec les logiciels d'analyse dendrochronologique Image J (1^{ère} phase) et SOP DHXCT (2nde phase) de laboratoire (MRAC).

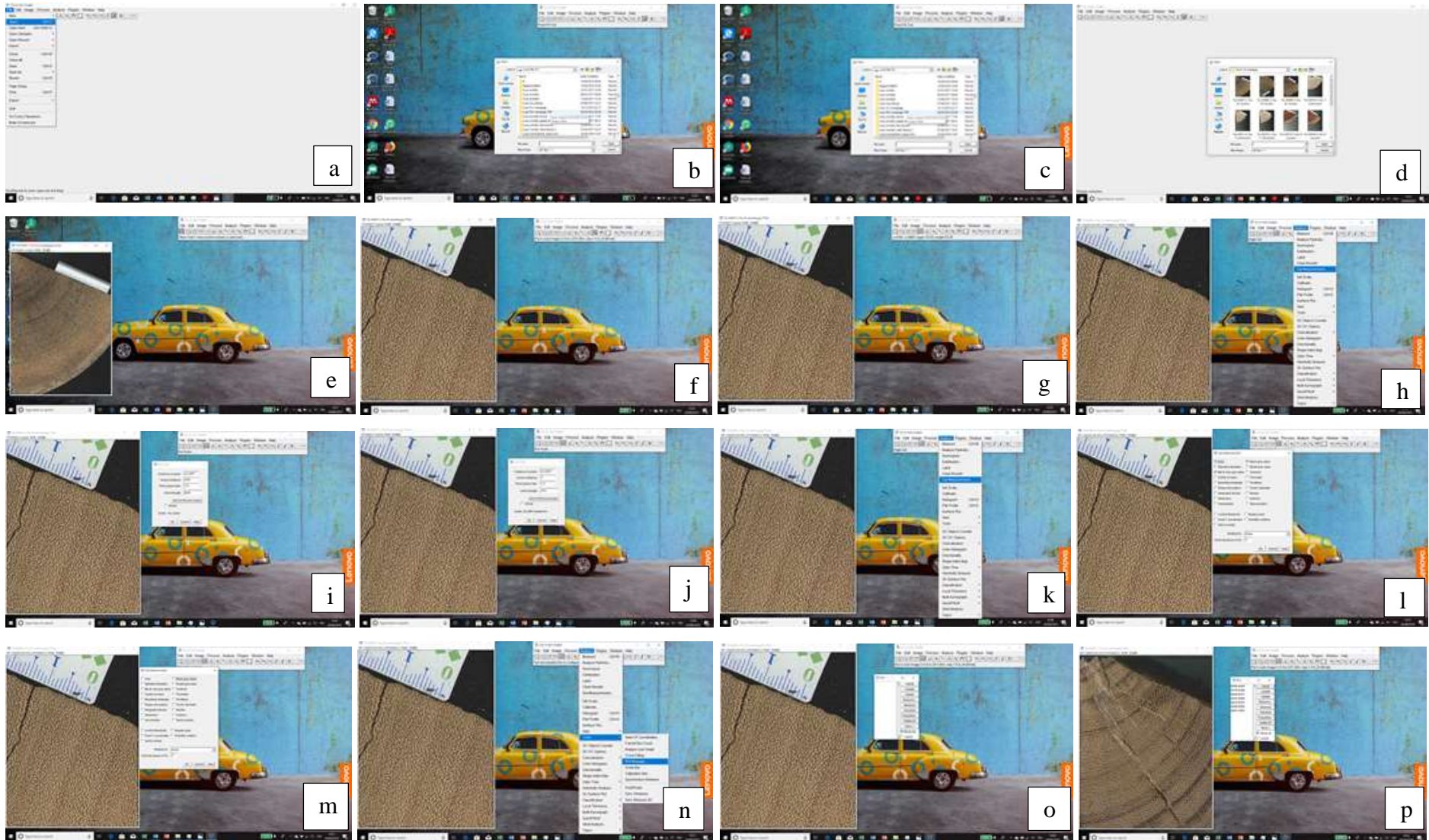
II.2.1.5.1. Mesure de la largeur des cernes avec Image J / Fiji

La largeur des cernes de croissance de la 1^{ère} phase de laboratoire a été mesuré à une précision de 0,01 mm par Image J/Fiji du centre vers l'écorce. La date d'abattage des arbres et de récolte des rondelles ici étant 2013.

Le traitement des transects marqués a nécessité les étapes suivantes : ouvrir Image J en cliquant sur 'Open ImageJ/Fiji' et une fois le logiciel ouvert (Fig. 24.a) ; cliquer sur 'File' puis sur 'Open' (Fig. 24.b) ; faire le choix des scans des transects numérisés à traiter (Fig.24. et d) ; avec 'Magnify glass' et 'hand', agrandir et ajuster le scan sur le scan de la règle graduée (Fig. 24.e) ; sur chaque scan, définir une échelle sur la règle, en cliquant sur la 5^{ème} icône puis sur 'Draw a line' et tracer exactement une ligne de 1 mm sur la règle (Fig. 24.e) ; pour calibrer cette échelle, cliquer 'Analyse' puis 'Set scale', un tableau "Set scale" s'affiche avec des valeurs par défaut (Fig. 24.f) ; sur ce tableau mettre la valeur/chiffre 1 sur 'Known distance' et mm sur 'unit of length' et ne rien changer et cliquer sur 'Ok' (Fig. 24.g) ; cliquer sur 'Analyze' puis 'Set measurements' (Fig. 24.h) ; un tableau 'Set measurements' s'affiche avec trois cases cochés automatiquement (Fig. 24.i).

Ensuite, supprimer tous les éléments cochés 'area', 'min and max grey value', 'mean gray value' et cliquer sur 'Ok'(Fig. 24.j) ; puis cliquer de nouveau sur 'Analyze' puis 'Tools' et enfin sur 'Roi Manager' (Fig. 24.k) ; un tableau 'Roi manager' s'affiche, cocher la case 'Show all' pour visualiser toutes les mesures sur le tableau (Fig. 24.l), et commencer les mesures par la distance entre la moelle et la limite du 1^{ier} cerne de croissance (=first ring-width) ; cliquer sur 'Add'et ajouter cette largeur de cerne puis enregistrer, mesurer la limite du 1^{ier} à la 2^{ième} largeur de cerne en traçant une ligne, cliquer sur 'Add' et continuer jusqu'à la fin du transect (au niveau de l'écorce) (Fig. 24).

Enfin, dans la colonne droite de «Roi Manager» cliquer sur 'Measure' pour obtenir les largeurs des cernes, un tableau apparait, enregistrer ce dernier en cliquant sur 'File' puis 'Save as' (Fig. 24.n et o) ; cliquer sur 'More' puis 'Save' pour enregistrer toutes les lignes de mesures dessinées sur le scan (Fig. 24.p), pour ouvrir ces fichiers ultérieurement ouvrir 'ROI Manager', puis 'More' enfin 'Open'. Les tableaux (fichiers Excel) peuvent être ouverts, la seule colonne utile ici est la colonne 'Length' et cette colonne affiche les largeurs de cernes mesurés en mm.



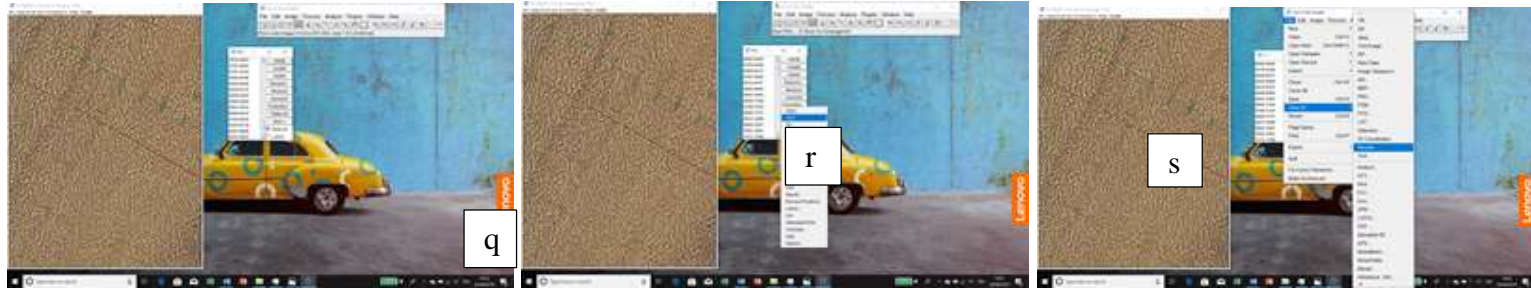


Fig. 24. Mesure de cernes avec Image J : (a) Image J ; (b) scan ; (c et d) scan à mesurer ; (e) scan dans Image J ; (f) agrandissement de la règle graduée par la loupe ; (g) mesure de l'échelle sur la règle ; (h et i) calibrage de l'échelle pour les mesures ; (j) insertion de la valeur 1 sur "Know distance" et mm sur "Unit length" ; (k) ouverture du tableau "Set measurement" avec les trois cases automatiquement cochées ; (m) décochage des trois cases sur le tableau "Set measurement" ; (n) ouverture du tableau "Roi manager" pour les mesures proprement dites des cernes (o et p) cochage de la "case show all» en dessous du tableau "Set measurement" et en début de mesure pour le premier cerne (de la moelle vers la limite de ce dernier) puis appuyer sur "Add" jusqu'à la fin des mesures (dernier cerne vers l'écorce/fin du segment du transect) ; (q) fin des mesures vers le dernier cerne (écorce/fin du segment du transect) ; (r) visualisation des mesures et sauvegarde des mesures (excel) ; (s) sauvegarde de toutes les mesures faites sur le transect en Tiff.

II.2.1.5.2. Mesure de la largeur des cernes avec SOP DHXCT

Les cernes de la 2^{ème} phase ont été mesurés avec « SOP DHXCT » à une précision de 0,01 mm. Cette interface dispose de trois sous interfaces graphiques : « Densimetry Toolbox » ; « DHXCT2016.exe » et « Core Comparison ».

II.2.1.5.2.1. Densimetry Toolbox

Il a été utilisé pour convertir les fichiers scannés (rendre moins dense). De manière pratique la 1^{ère} étape a consisté à créer un « new folder » sur le bureau de l'ordinateur, et à y insérer tous les transects marqués à convertir d'une même espèce (écorce à droite et moelle à gauche). Ouvrir l'interface, les fonctions s'affichent (fig. 25.a), sélectionner la fonction « Convert » et un nouvel onglet s'affiche « Converting from ? » avec plusieurs choix de conversion (fig. 25.b). Cliquer sur le 2nd choix « Colour » (fig. 25.c), deux sous onglets s'ouvrent, le 1^{er} « Resolution in (micrometer) » avec la valeur « 10 » par défaut et le 2nd avec « Converting file... ». Mettre la valeur convertie de la résolution 1200 DPI, soit 21,16 µm dans le 1^{er} sous onglet à la place de la valeur par défaut 10 (fig.25.d) et enfin tous les transects du « new folder » sont simultanément convertie et un dossier « Optical Tiff » qui a été généré avec tous les transects convertis.

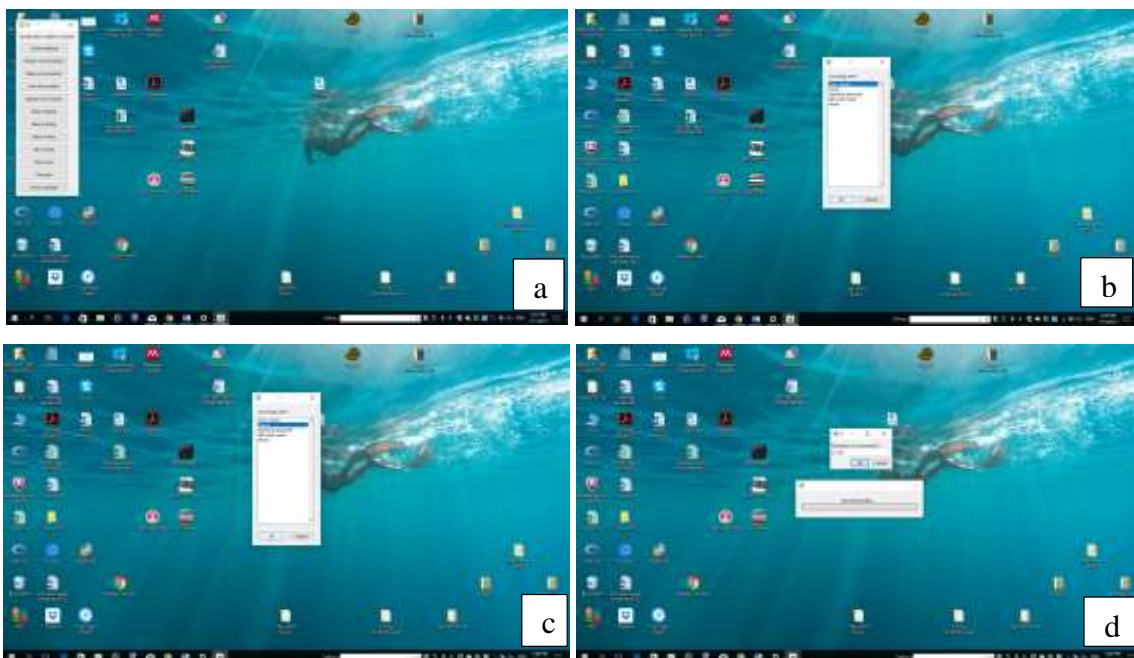


Fig. 25. Conversion des transects marqués des cernes de la 2^{ème} phase avec "Densimetry Toolbox": (a) les fonctions de l'interface ; (b) les différentes sous fonction de "converting form"; (c) choix de "Colour" ; (d) insertion de la valeur de la résolution en µm.

II.2.1.5.2.2. DHXCT

Il a été utilisé pour marquer/mesurer la largeur des cernes. Les fichiers scans du dossier «Optical Tiff» précédent ont été traités individuellement transect par transect. Le protocole de mesure des cernes a été l'ouverture de l'interface et le choix d'un transect dans le dossier «Optical Tiff». A l'ouverture deux figures apparaissent sur l'écran la figure du haut représentant la section transversale du transect et la figure du bas représentant la section radiale du transect. Sur ces deux images, il apparaît un trait discontinu horizontal de couleur rouge et des traits continus noirs verticaux avec l'échelle en dessous sur chacune de ces dernières (Fig. 26.a) ; ensuite cliquer sur « Images » puis « Magnification », pour agrandir ou réduire l'image scan (Fig. 26.b).

Pour le marquage/mesure des cernes, cliquer sur « Overlay plotting » puis « Plot rings », enfin un click gauche a été fait manuellement sur l'image (scan) pour insérer le trait vert pour le marquage des cernes ; jouer avec les carrés supérieurs pour les corrections des angles, ce marquage doit toujours se faire sur toute la longueur du transect ; les corrections des déviations structurales peuvent être faites simultanément sur les deux sections. Lorsque le trait vert a été inséré sur une section (figure du haut), cela génère automatiquement un trait similaire sur l'autre section (figure du bas).

Après l'insertion, le carré blanc qui s'affiche au-dessus supérieur de ce trait peut bouger pour corriger l'angle (entre le trait vert et le cerne). Le 2nd carré blanc qui s'affiche au centre du trait vert a été utilisé pour ajuster/changer la position du trait vert, afin que ce dernier se place exactement sur la limite du cerne de croissance. Après toutes ces étapes s'assurer que tous les cernes ont été marqués et ensuite cliquer sur « Export » et « Rings » puis sur « Export rings ». Ceci pour être sûr que les indications ont été sauvegardées, pour avoir toutes les sauvegardes de ces indications, toujours s'assurer que les deux actions précédentes ont été faites (Fig. 26.c et d). Après avoir fini la démarcation des limites des cernes sur un transect, tout en appliquant les indications précédentes (en s'assurant que le même cerne ne soit marqué deux fois, si c'est le cas reprendre le processus de marquage).

A la fin cliquer sur « Data » puis « Export » et « Ring » puis « Export » enfin sur « Option » puis « Fell data » qui est la date d'abattage des arbres 2015.

En cas d'anomalie cliquer « Broken rings » et/ou « Missing rings », faire des corrections nécessaires et marquer les cernes. Ces cernes doivent être considérées et les travaux de marquage repris de nouveau au cas où ils ont été avérés. Enfin cliquer sur « Data » puis sur « Export » ensuite cliquer sur « Rings », « Export rings widths » trois fichiers 2 Txt et 1 Tiff ont été générés et enregistrés dans le dossier « Optical Tiff ».

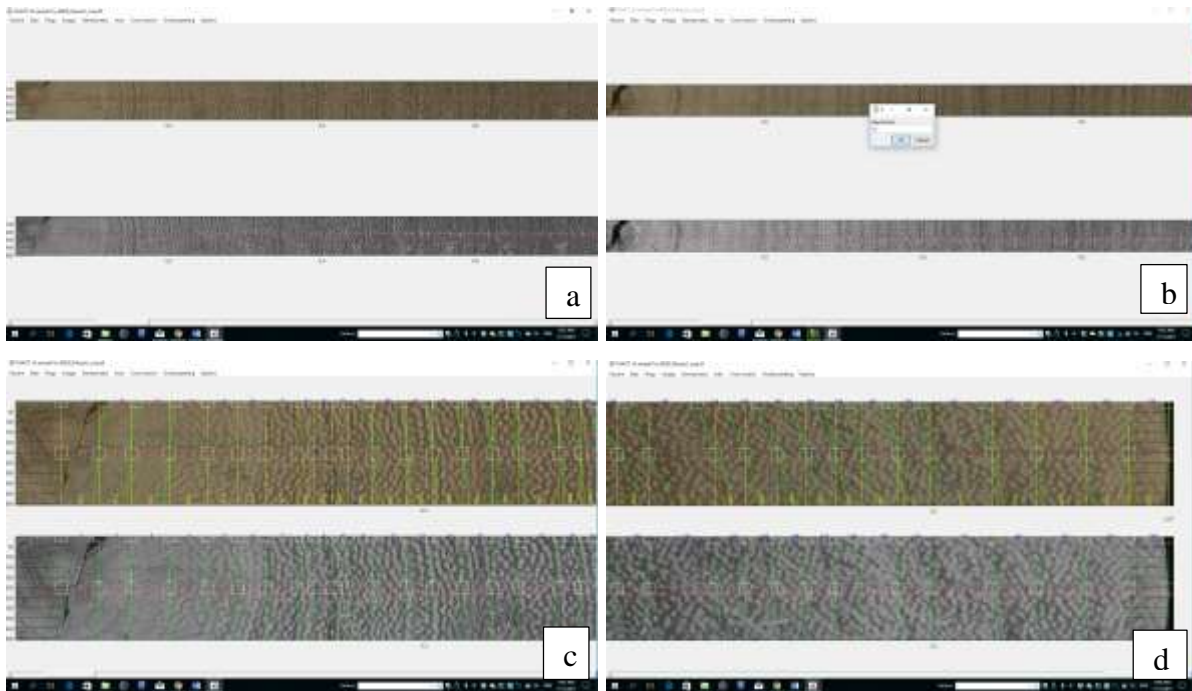


Fig. 26. Vérification du marquage des transects de la 2^{ème} phase avec le DHXCT : (a) l'interface et ses fonctions ; (b) magnification de l'interface; (c et d) marquage des cernes.

II.2.1.5.2.3. Core Comparison

Il est analogue à « TsapWin » et à d'autres programmes d'analyse de cernes. Toutefois dans cette version de l'interface, toutes les fonctions des logiciels disponibles dans le commerce ne sont pas implémentées, car ce n'est en aucun cas un programme d'analyse complet pour bâtir une chronologie. Le but principal de ce programme a été d'avoir une idée de la synchronisation des séries de largeurs de cernes, pour chaque transect et par espèce.

Ce programme a été utilisé pour la comparaison des séries de cernes, et surtout pour générer des fichiers Excel des séries de largeurs de cerne pour une série de transects par espèce. De manière pratique, ouvrir et charger tous les fichiers (*.txt) générer par DHXCT, sur l'écran s'affichent trois figures, la figure du haut représentant la série des largeurs des cernes, celles du bas représentant respectivement le « Gleichläufigkeit » (GLK) et les paramètres de corrélation (Fig. 27.a, b et c). Pour le GLK, cliquer sur « Data cursor », et ensuite sur GLK. Pour le fichier Excel des séries de largeurs de cernes, cliquer sur « Plotting and exporting Ring width », ensuite sur « Ring width », puis sur « Export ring width data », un fichier Excel « Export Ring Width data » a été généré. Après des corrections sur un transect (supprimer ou ajouter un cerne, dans le DHXCT, « ring import », les deux fichiers (*.txt) « ring and fiber » et « ring width » ont été automatiquement sélectionnés, puis cliquer dans « Refresh » dans le Core Comparison pour que les corrections soient prises en compte (De Mil *et al.*, 2016).

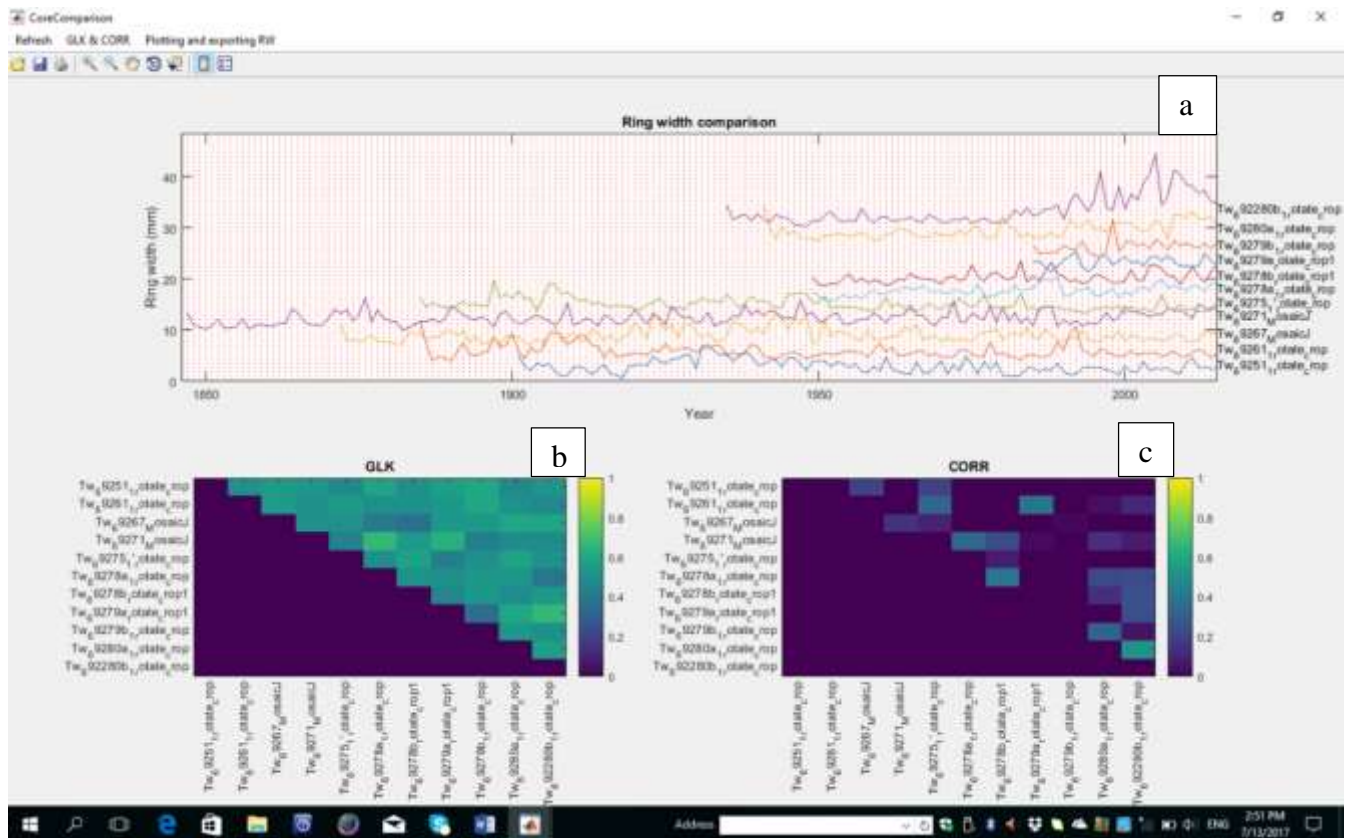


Fig. 27. "Core comparison" des séries de largeur de cernes d' *E. cylindricum* de la 2^{ème} phase : (a) comparaison des séries de cernes de croissance ; (b) GIK et (c) corrélations entre les séries de largeurs de cernes.

II.2.1.6. Traitement et analyse des fichiers de séries de largeurs de cernes

Le traitement et l'analyse des fichiers de séries nécessite quatre étapes : l'inter-datation ou « cross dating », au niveau du marquage des cernes sur les rondelles de bois couplé à l'utilisation des logiciels de dendrochronologies pour l'attribution des années à chaque cerne ; le traitement des fichiers Excel des séries; la synchronisation et l'analyse des séries.

II.2.1.6.1. Inter-datation ou « crossdating » des séries de largeurs de cernes

Pendant le marquage des cernes sur les différents transects d'une même rondelle, et connaissant la date de formation du dernier cerne sous l'écorce (dates d'abattages respectives 2015 et 2013), par DHXCT et Image J a été attribuée, une date à chaque cerne compté.

Compte tenu du fait que la croissance des arbres dans les milieux où l'activité cambiale ne s'arrête pas (milieux tropicaux), durant ce marquage les éventuels erreurs mais également les anomalies de croissance ou anatomiques du type cernes manquants ; les faux cernes et les cernes discontinus, partiels ou incomplets. Les cernes discontinus, partiels ou incomplets se retrouvant généralement chez les espèces à croissance lentes, et dans les zones excentriques des rondelles de bois (Wils et *al.*, 2009).

Cette inter-datation, étape essentielle permettant de vérifier l'agencement synchrone des séries individuelles de cernes croissance et de ce fait d'attribuer à chaque cerne son année exacte d'élaboration. Elle se fait au niveau de l'arbre entre les transects mesurés ou de la moyenne des séries de cernes de chaque arbre de la même espèce (Douglas, 1941).

Le principe fondamental de l'inter-datation repose sur l'existence « d'années caractéristiques » auxquelles correspondent des conditions de croissance remarquable. Ces années témoignent d'événements extrêmes survenus dans la vie de l'arbre, et plus généralement de l'action limitante ou stimulante des facteurs climatiques sur la croissance qui, selon leur intensité et leur durée, ont pour effet de générer des séries de cernes plus étroits ou plus larges que la moyenne.

Pour des arbres soumis au même environnement, les fluctuations climatiques interannuelles vont entraîner des variations synchrones de la structure des cernes (croissance forte ou faible). Ces cernes larges ou fins (pic ou creux sur le profil), constituent les véritables repères chronologiques communs appelés « années caractéristiques ».

II.2.1.6.2. Traitement des fichiers de séries de largeurs de cernes

Les fichiers Excel obtenus à la suite de la mesure des cernes de la 1^{ère} phase ont été nommés 'Results_Tw_rondelle_n°transect' ex : Results_Tw_65067_transect_1, dans ces derniers c'est juste la colonne 'Length' qui a été utile. Dans tous les fichiers obtenus, la 1^{ière} colonne 'Angle' a été supprimée et tous les résultats ont été enregistrés dans le même fichier de synthèse Excel pour les analyses.

Les fichiers Excel 'Export Ring With data' de chacune des espèces (*E. cylindricum*, *E. suaveolens* et *T. scleroxylon*) de la 2^{nde} phase ont été traités à l'aide du logiciel 'Past'. De manière pratique, la première ligne a été supprimée ; sur l'interface du logiciel qui s'affiche, cliquer sur « Edit label » ; ensuite sur « Edit » puis « paste » pour coller le fichier Excel généré précédemment ; enfin cliquer sur « Edit », « Select all » et « Transpose » pour intervertir la disposition des axes du fichier Excel (Hammer *et al.*, 2001) et ainsi faciliter les analyses ultérieures.

II.2.1.6.3. Synchronisation ou « cross corelation function » des séries de largeurs de cernes

Les séries de largeurs de cernes de croissance de la 2^{nde} phase ont été synchronisés au sein de la rondelle de bois (individu) et entre les arbres de la même espèce. Et ceci pour chacune des espèces (*E. cylindricum* ; *E. suaveolens* et *T. scleroxylon*). Cette synchronisation s'est faite en comparant une à une chaque chronologie élémentaire par rondelle et par espèce à l'aide du

logiciel R studio (R core Team, 2017 ; Bunn *et al.*, 2017) et la fonction « cross correlation function» de ce dernier.

II.2.1.6.4. Analyse des fichiers de série largeur de cerne

II.2.1.5.6.1. 1^{ère} phase de laboratoire

Les séries de largeurs de cernes obtenues durant la 1^{ère} phase pour chaque transect fournissent une série élémentaire (lc). Les épaisseurs de largeur cerne moyenne des séries pour chaque arbre/individu (lcm), étant la moyenne de deux (*E. cylindricum*, *M. altissima*, *M. exselca* et *T. scleroxylon*) séries élémentaires (lc) du même individu. L'accroissement radial cumulé étant la somme des largeurs de cerne moyenne (Σlcm). Et l'accroissement diamétrique cumulé, représentant le double de l'accroissement radial cumulé (D).

$$lcm = \frac{lc_1 + lc_2}{2} ; R = \Sigma lcm ; D = 2(\Sigma lcm)$$

Avec $lc_{1,2}$: largeur des cernes du transect 1 ou 2 ; lcm : largeur de cerne moyenne ; R : rayon de l'arbre/rondelle ; D = diamètre de l'arbre/rondelle.

Les séries de largeur de cernes obtenues ont été utilisées, pour le calcul de la moyenne des accroissements diamétriques annuels en $cm.an^{-1}$. La moyenne des accroissements des différents transects a été convertie en accroissement diamétrique annuel séparément pour chacune des quatre espèces.

II.2.1.6.4.2. 2^{ème} phase de laboratoire

Les séries de largeur de cerne obtenues durant la 2^{nde} phase, pour chaque transect fournissent une série élémentaire (lc). Les épaisseurs de largeur cerne moyenne des séries pour chaque arbre/individu (lcm), étant la moyenne de deux (*E. suaveolens* et *E. cylindricum*) ou trois (*T. scleroxylon*) séries élémentaires (lc) du même arbre/individu.

L'accroissement radial cumulé étant la somme des largeurs de cerne moyenne (Σlcm). L'accroissement diamétrique cumulé (D) représentant le double de l'accroissement radial. Et la surface terrière d'un cerne de croissance (STC) qui est la différence des carrés des rayons entre deux années successives multiplié par π , par contre la surface terrière d'un arbre est le facteur du carré du rayon et de π (Assmann, 1970).

$$lcm = \frac{lc_1+lc_2}{2} \text{ ou } lcm = \frac{lc_1+lc_2+lc_3}{3} ; R = \Sigma lcm ; D = 2(\Sigma lcm) ; STA = \pi R^2 ;$$

$$STC = \pi(R^2_t - R^2_{t-1})$$

Avec lc : largeur des cernes du transect 1, 2 ou 3 ; lcm : largeur des cernes moyennes ; R : rayon de l'arbre/rondelle ; D = diamètre de l'arbre/rondelle ; STA : surface terrière d'un arbre ; STC

= surface terrière d'un cerne de croissance et t : année de formation du cerne ; R_t : rayon de la tige/rondelle à la fin de l'accroissement annuel ; R_{t-1} : rayon de la tige/rondelle au début de l'accroissement annuel.

Les séries de largeur de cernes obtenues ont été utilisées, pour le calcul de la moyenne des accroissements diamétriques annuels (cm.an^{-1}). La moyenne des accroissements des différents transects a été convertie en accroissement diamétrique annuel séparément pour chacune des trois espèces. Pour décrire l'accroissement, les courbes âge-diamètre ont été obtenues en utilisant les courbes d'accroissements cumulatives qui ont été calculées pour ces rondelles.

La sous/sur estimation des taux d'accroissement dans les zones de très faibles visibilitées, ou les mesures des cernes de croissance à des endroits irréguliers des rondelles de bois. Dans ces cas, le facteur de correction a été appliqué tenant en compte de la différence entre le diamètre mesuré par les cernes et le diamètre mesuré sur le terrain (Brienen et Zuidema, 2006a). Baser sur les accroissements radiaux, a été estimé les DMEs, les courbes cumulatives des DHP par arbres ont été présentées et l'âge physiologique pour chaque arbre (Lopez *et al.*, 2013).

La relation âge-diamètre cumulatif a été calculée des deux (*E. cylindricum*, *E. suaveolens*) ou trois (*T. scleroxylon*) transects mesurés par arbre (rondelle), qui ont été premièrement doublé pour estimer le diamètre. Ce genre d'accroissements diamétriques ont été par la suite cumulés à l'aide des cernes de la moelle - l'écorce par arbre (Stahle *et al.*, 1999) et utilisé pour décrire les accroissements en fonction de la durée de vie de ces trois espèces forestières. Deuxième, a été calculée pour ces espèces la moyenne des taux d'accroissements diamétriques (cm.an^{-1}).

Les comparaisons ont été faites entre les taux d'accroissements estimés et les taux d'accroissements ontogéniques des différentes espèces. Pour estimer la relation entre l'âge et les accroissements, ces derniers ont été comparés aux DMEs i.e. les valeurs légales de diamètres pour l'exploitation des arbres de ces espèces au Cameroun à 100 cm pour *E. cylindricum*, 50 cm pour *E. suaveolens* et 80 cm pour *T. scleroxylon* (Anonyme, 2001a), cette relation (âge et l'accroissement) a été aussi comparée avec les taux légaux d'accroissements utilisés au Cameroun à $0,5 \text{ cm.an}^{-1}$ pour *E. cylindricum*, $0,4 \text{ cm.an}^{-1}$ pour *E. suaveolens* et $0,9 \text{ cm.an}^{-1}$ pour *T. scleroxylon* qui ont été basés sur les calculs de la production du bois à l'aide du logiciel TIAMA (Anonyme, 1999a).

II.2.2. Variation radiale de la densité du bois

La détermination de la variation radiale de la densité du bois au MRAC a nécessité quatre étapes : mesure des paramètres dendrométriques ; récolte des rondelles ; préparation des fragments de bois à l'atelier de bois et tests de densité.

II.2.2.1. Atelier du bois

A l'atelier du bois du MRAC (petite menuiserie), tous les fragments de rondelles de bois (camemberts) récoltés lors du séjour 1, ont été découpés par différentes scies à bois manuelles (égoïne, plate, japonaise, à buche, à dos et carré...) et des deux étaux (fixe et mobile).

Sur la section la plus longue du fragment des rondelles de bois maintenus fixe à l'aide de l'étau, un morceau de 1 cm de largeur est prélevé à l'aide d'une scie appropriée (Fig. 28.a, b et c). Ce morceau de fragment a été par la suite immobilisé sur un petit étau et à l'aide des mêmes scies découpés en dix (10) petits fragments de plus ou moins même dimension, ceci en prenant le soin de reporter le numéro d'identification (Tw n°) de la rondelle suivie des chiffres 1 à 10 de l'écorce vers la moelle (Fig. 28.g).

Enfin à l'aide de ciseaux à bois et d'un maillet en bois, ces dix petits fragments ont été taillés finement sur les côtés pour avoir des fragments uniformes. Pour chaque rondelle de bois (camemberts) les dix petits fragments numérotés sont placés dans un bac (Fig. 28. h et i).



Fig. 28. Préparation du bois pour les test de densité (a) scies et étau fixe ; (b, d, e et f) prélèvement d'une lamelle de fragment de 1 cm à l'aide de scies et étaux mobile ; (c) prélèvement d'une lamelle de fragment de 1 cm à l'aide de scies et étau immobile ; (g) subdivision en 10 et numérotation de 1 à 10 dans le sens (écorce-moelle) ; (h) 10 petits fragments subdivisés dans un bac ; (i) 10 petits fragments subdivisés par rondelles de bois.

II.2.2.2. Tests de densité

La réalisation des tests de densité au laboratoire d'anatomie du bois a nécessité deux étapes : les précautions et le protocole.

II.2.2.2.1. Précautions

L'obtention des profils de densité de l'écorce-moelle a nécessité, un dispositif expérimental composé de deux balances de précision. Sur la balance de grande capacité, a été disposé un bécher rempli d'eau, cette dernière a été tarée. Après l'obtention du poids de la partie de la pincette (disposer sur la potence) qui sera immergée dans l'eau avec l'échantillon, la soustraction de ce poids et ceux des autres parties du dispositif a été faite plus tard en tarant la balance.

Pendant les mesures des masses, il a été nécessaire de prendre des dispositions pour que les échantillons ne touchent pas les abords du bécher, lors de leurs immersions.

II.2.2.2.2. Protocole

Au laboratoire d'anatomie du bois, des tests de densité ont été réalisés sur ces petits fragments. La méthodologie utilisée pour ces tests est celle du déplacement de liquide, elle est basée sur le principe de la poussée d'Archimède : le volume d'un échantillon est estimé par la masse du volume qui est déplacé pendant que l'échantillon est immergé dans un liquide (eau déminéralisée ayant une densité de 1) d'après Olesen, (1971) ; Williamson & Wiemann, (2010).

Cette méthode est aussi appelée la méthode hydrostatique. La prise des masses des petits fragments s'est faite sous hôte. Le dispositif expérimental (Fig. 29.a) étant composé d'une balance SCLATEC_{SPB53} (maximum 610 g précision 0,01 g) pour les masses à l'état frais (vert) des bois (les rondelles de bois ayant séché naturellement, les masses à l'état frais ont été obtenues en trempant ces petits fragments dans de l'eau déminéralisée quelques minutes jusqu'au point de saturation des fibres). Et par la suite ces petits fragments ont été pesés sur la balance ci-dessus citée (Fig. 29.b).

Ensuite pour obtenir les masses sèches de ces petits fragments, ces derniers ont été introduits dans une étuve MEMMERT UN75 pendant 48 h (2 h à 60 °C, 4 h à 80 °C et 42 h à 103 °C), pour atteindre des masses constantes, la température de l'étuve a été augmentée

graduellement pour éviter les risques d'éclatement des petits fragments (Fig. 29.d et e), les masses sèches ont été immédiatement prises à la sortie de l'étuve et à humidité ambiante. Au sein du laboratoire d'anatomie du bois au MRAC étant 8 % (humidité du laboratoire à Tervuren).

Enfin les masses sèches ont été obtenues sur une balance KERN₅₇₂ (maximum 12 100 g de précision 0,1 g) au-dessus de laquelle un béccher contenant de l'eau déminéralisée, cette balance a été par la suite tarée et remise à zéro (0) (Fig. 29.c), le fragment à peser a été fixé par un collier à vis au bout duquel se trouve une pincette (dont le volume est connu et corriger pour l'immersion dans l'eau), lequel a été lui-même fixé à un bras d'un support se déplaçant verticalement, les fragments secs ont été immergés quelques minutes dans l'eau déminéralisée (jusqu'à saturation des fibres) et par la suite immédiatement pesés jusqu'à obtention de masses constantes (trois fois successivement).

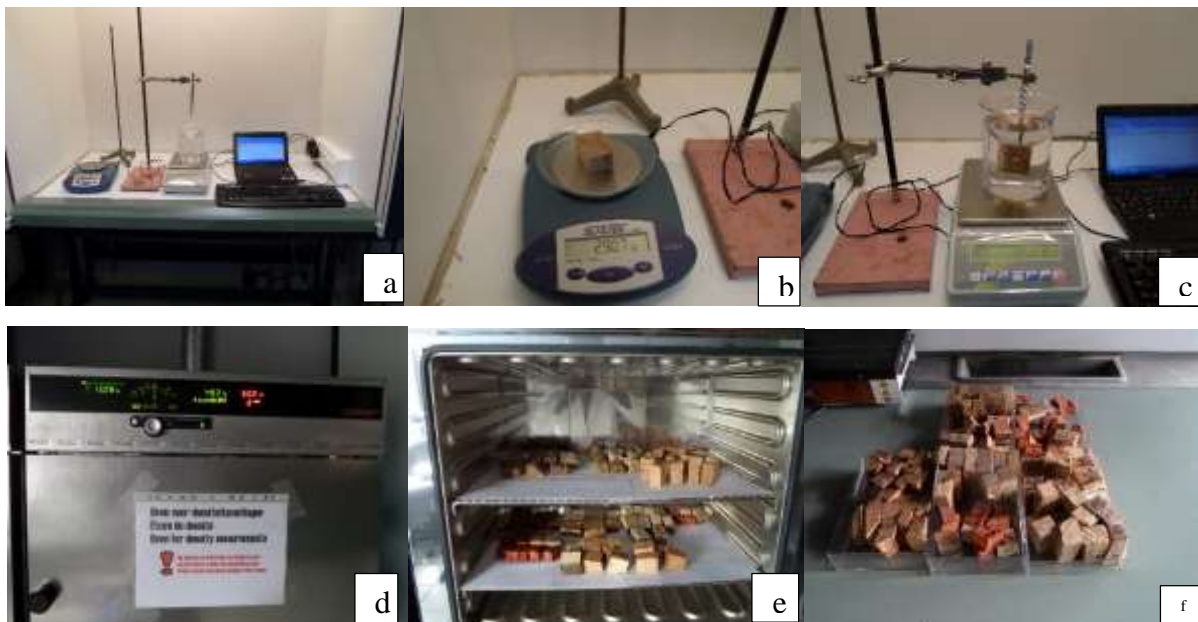


Fig. 29. Tests de densité : (a) dispositif expérimental ; (b) pesée des fragments pour les masses sèches ; (c) pesée des fragments pour les masses fraîches (vertes) ; (d) séchage des fragments à l'étuve 48 h (2 h à 60 °C, 4 h à 80° C et 42 h à 103° C) et (e et f) retrait des fragments séchés dans l'étuve pour les pesées des masses sèches.

II.2.2.3. Analyse des paramètres dendrométriques et valeurs de densité du bois

II.2.2.3.1. Analyse des paramètres dendrométriques

Les circonférences mesurées sur le terrain ont été converties en diamètres selon la formule ci-dessous (1).

$$Cir. \text{ à } \pm 1,30 \text{ m} = \pi \varnothing \text{ à } \pm 1,30 \text{ m} ; \varnothing \text{ à } \pm 1,30 \text{ m} = (Cir. \text{ à } \pm 1,30 \text{ m}) / \pi$$

Avec *Cir.* à ± 1,30 m : Circonférence ± 1,30 m de hauteur ; \varnothing à ± 1,30 m : Diamètre ± 1,30 m de hauteur.

II.2.2.3.2. Analyse des valeurs de densité du bois

Lors du processus de la pesée des masses et du calcul de la densité spécifique du bois (DSB) au laboratoire, un fichier Excel a été ouvert (1^{ière} colonne : Tw n°; 2^{ème} colonne : n° de sous-fragment ou échantillon de 1 à 10 dans le sens (écorce → moelle) ; 3^{ème} colonne : les paramètres suivants ont été pris en considération : masse fraîche à humidité ambiante au laboratoire du MRAC 8 % (m.f.h.a.l.) : qui est la masse à l'état frais de l'échantillon, cette masse est obtenue en immergeant l'échantillon de bois dans un bécher contenant de l'eau jusqu'à saturation des fibres et juste après l'échantillon est pesé ; volume d'eau à humidité ambiante simple (v.e.h.a.s.) : qui est le volume d'eau contenu dans le bécher avec l'immersion ; volume d'eau à humidité ambiante + échantillon immergé (v.e.h.a. + e.i.) : qui est la valeur du volume d'eau contenu dans le bécher + le volume de l'échantillon ; masse sèche (m.s.) : masse sèche à humidité ambiante au laboratoire du MRAC (8 %) des échantillons obtenus juste après la sortie de l'étuve, jusqu'à obtention d'une masse constante ; volume sec (v.s.) : qui est le volume restant dans le bécher après avoir enlevé l'échantillon immergé avec une petite quantité d'eau ; volume à humidité ambiante corrigé (v.h.a.c.) qui est le volume d'eau restant dans le bécher en considérant la petite quantité d'eau perdue après avoir enlevé l'échantillon immergé et en tarant à chaque fois la balance ; volume sec corrigé (v.s.c.) qui est le volume d'eau déplacé moins le volume d'eau qui sature l'échantillon moins les pertes.

$$D.S.B._{8\%} = \frac{M.s.}{V.s.c.}$$

Avec D.S.B._{8%} : Densité spécifique du bois à humidité 8 % en g.cm⁻³; M.s. : Masse sèche en g ; V.s.c : Volume sec corrigé en cm³.

II.2.3. Relation hauteur totale et diamètre des arbres

La détermination des relations hauteur totale et diamètre des arbres pour ces trois espèces a nécessité deux étapes : mesure des paramètres dendrométriques et l'analyse de ces paramètres.

II.2.3.1. Analyse des paramètres dendrométriques

Les circonférences mesurées sur le terrain ont été converties en diamètres selon la formule ci-dessous (1). Et les hauteurs totales ont été compilées selon l'équation (2).

$$Cir. \text{ à } \pm 1,30 \text{ m} = \pi \emptyset \text{ à } \pm 1,30 \text{ m} ; \emptyset \text{ à } \pm 1,30 \text{ m} = (Cir. \text{ à } \pm 1,30 \text{ m}) / \pi \quad (1)$$

Avec *Cir.* à ± 1,30 m : Circonférence ± 1,30 m de hauteur ; \emptyset à ± 1,30 m : Diamètre ± 1,30 m de hauteur.

$$HT = H \text{ souche} + H \text{ culée} + H \text{ fût (HPBi)} + H \text{ houppier} \quad (2)$$

Les données quantitatives de diamètres gros bouts (DGB) et de hauteurs totales (HT) sont introduites dans le tableur Excel pour générer les corrélations de Pearson, permettant d'obtenir la meilleure régression, sont testées tour à tour les régressions logarithmiques, puissances, racines carrés, exponentielles, linéaires... Celle dont le R^2 est le plus important est retenu. Les tests de corrélations réciproques sont réalisés pour s'assurer de la véracité de ces derniers.

CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1. RÉSULTATS

III.1.1. Cernes de croissance des arbres

III.1.1.1. Aspects macroscopiques des rondelles de bois de la 1^{ère} phase

L'examen macroscopique des rondelles de bois des neuf espèces, a permis de caractériser l'aspect visuel de ces dernières. Les espèces ayant un aubier/duramen différencié sont les suivantes : *A. bipendensis* ; *C. gabunensis* ; *E. cylindricum* ; *E. utile* ; *E. suaveolens* ; *M. altissima* ; *M. excelsa* et *P. soyauxii*. Et seule *T. scleroxylon* présente un aubier/duramen non différencié.

Chez *A. bipendensis*, l'aubier est brun-rougeâtre ; chez *C. gabunensis*, il est brun jaune à brun doré ; chez *E. cylindricum*, il est brun rouge à brun violet ; chez *E. utile*, il est brun rouge ; chez *E. suaveolens*, il est brun jaune à brun rouge ; chez *M. altissima*, il est brun jaunâtre à brun gris ; chez *M. excelsa*, il est brun jaune à brun foncé ; chez *P. soyauxii*, il est rouge foncé et blanc à jaunâtre chez *T. scleroxylon*. Le duramen est respectivement blanc à jaune pâle (*A. bipendensis*) ; claire (*C. gabunensis*) ; gris rosâtre à blanchâtre (*E. cylindricum*) ; blanc rosé (*E. utile*) ; blanc rosâtre (*M. altissima*) ; blanchâtre (*M. excelsa*) ; blanchâtre (*P. soyauxii*) et blanc à jaunâtre (*T. scleroxylon*) (tableau X ; Fig. 29).

Tableau X. Aspects macroscopiques des rondelles de bois des espèces forestières du séjour 1.

Noms scientifiques	Aubier/Duramen	Couleur duramen	Couleur aubier
<i>A. bipendensis</i> (Fabaceae- Ceasalpinioideae)	Bien différencié	Brun rougeâtre	Blanc à jaune pâle
<i>C. gabunensis</i> (Fabaceae- Mimosoideae)	Bien différencié	Brun jaune à brun doré	en couleur claire
<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae)**	Bien différencié	Bois rouge à brun violet	Gris rosâtre à blanchâtre
<i>E. utile</i> (Meliaceae)*	Bien différencié	Bois rouge	en couleur blanc rosé
<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae- Ceasalpinioideae)*	Différencié	Brun jaune à brun rouge	Blanc rougeâtre à jaunâtre
<i>M. altissima</i> (Malvaceae)*	Différencié	Brun jaunâtre à brun gris	Blanc rosâtre
<i>M. excelsa</i> (Moraceae)*	Différencié	Brun jaune à brun foncé	Blanchâtre
<i>P. soyauxii</i> (Fabaceae- Papilionioideae)	Bien différencié	Rouge foncé	Blanchâtre
<i>T. scleroxylon</i> (Mavalceae)**	Non différencié	Blanc à jaunâtre	Blanc à jaunâtre

**Espèces présentant un bon potentiel d'analyse des cernes ; * Espèces présentant un très bon potentiel d'analyse des cernes.

III.1.1.2. Profil macro-/microscopique de la structure des cernes et anomalies des cernes

A la suite de l'examen des sections transversales des rondelles de bois poncées des neuf espèces et des coupes disponibles dans la xylothèque du MRAC et des descriptions anatomiques détaillées des caractéristiques du bois disponibles pour la plupart des espèces étudiées. De ces neuf espèces : *A. bipendensis* ; *E. cylindricum* ; *E. utile* ; *E. suaveolens* ; *M. altissima* ; *M. excelsa* ; *P. soyauxii* et *T. scleroxylon* présentent les limites de cernes distinctes. Et parmi elles deux présentent un très bon potentiel d'analyse : *T. scleroxylon* et *E. cylindricum*. Et quatre un bon potentiel d'analyse : *E. utile* ; *E. suaveolens* ; *M. altissima* ; *M. excelsa* (tableau X).

Les limites de cernes des quatre espèces étaient caractérisées par une fine bande de parenchyme, difficile à identifier pour différentes raisons. Chez *E. cylindricum*, la limite de cerne de croissance est dessinée par une ligne de parenchyme axial, pouvant aussi apparaître sous forme d'un fin alignement de chaînettes (Annexe 4 ; Fig. 30.b ; 31.a1). Les anomalies rencontrées ici sont les faux cernes qui apparaissent sous forme de dédoublement des limites dans les cernes très larges lors des phases de croissances rapides ne posent pas de véritables problèmes d'identification, lors des phases de croissance lentes les limites de cernes minces qui posent les problèmes d'appréciation, les cernes nuls ou partiellement nuls (sur une partie de la rondelle de bois).

Chez *M. altissima* la limite de cerne de croissance est dessinée par une ligne fine/large (chaînette) de parenchyme épaissi d'une à deux cellules incluant des pores et des canaux traumatiques, cette limite est caractérisée par un passage brusque d'une zone foncée à une zone très claire (coloration due à différents aspects du tissu fibreux) (Annexe 3 ; Fig. 30.a ; 31.a2). Les anomalies d'identification pour cette espèce sont des cernes partiellement nuls (aucune formation de cerne sur un secteur de la rondelle), les cernes nuls sur quelques années sur toute la circonférence existent mais sont peu fréquents.

Chez *M. excelsa* la limite de cerne de croissance est souvent tracée par une bande mince et fragmentée de parenchyme ou par de parenchyme aliforme étiré en aile mince et droite qui tend s'aligner de manière tangentielle (Annexe 3 ; Fig. 30 d ; 32 a2), les anomalies sont rares pour cette espèce, car les faux cernes y sont rares et les cernes nuls sont facilement identifiables (tableau X).

Chez *T. scleroxylon* la limite de cerne de croissance est dessinée par un parenchyme auquel sont associés quelques rares pores de faible diamètre, pouvant aussi apparaître sous la

forme d'un fin alignement de chaînettes (Annexe 4 ; Fig. 30.c ; 32 a2), les anomalies telles que les cernes nuls sont rares et le seul problème ici est l'étroitesse des cernes. De plus les bandes occasionnelles de parenchyme et les variations d'abondance de parenchyme ou de pores sont considérées comme de faux cernes (tableau X).

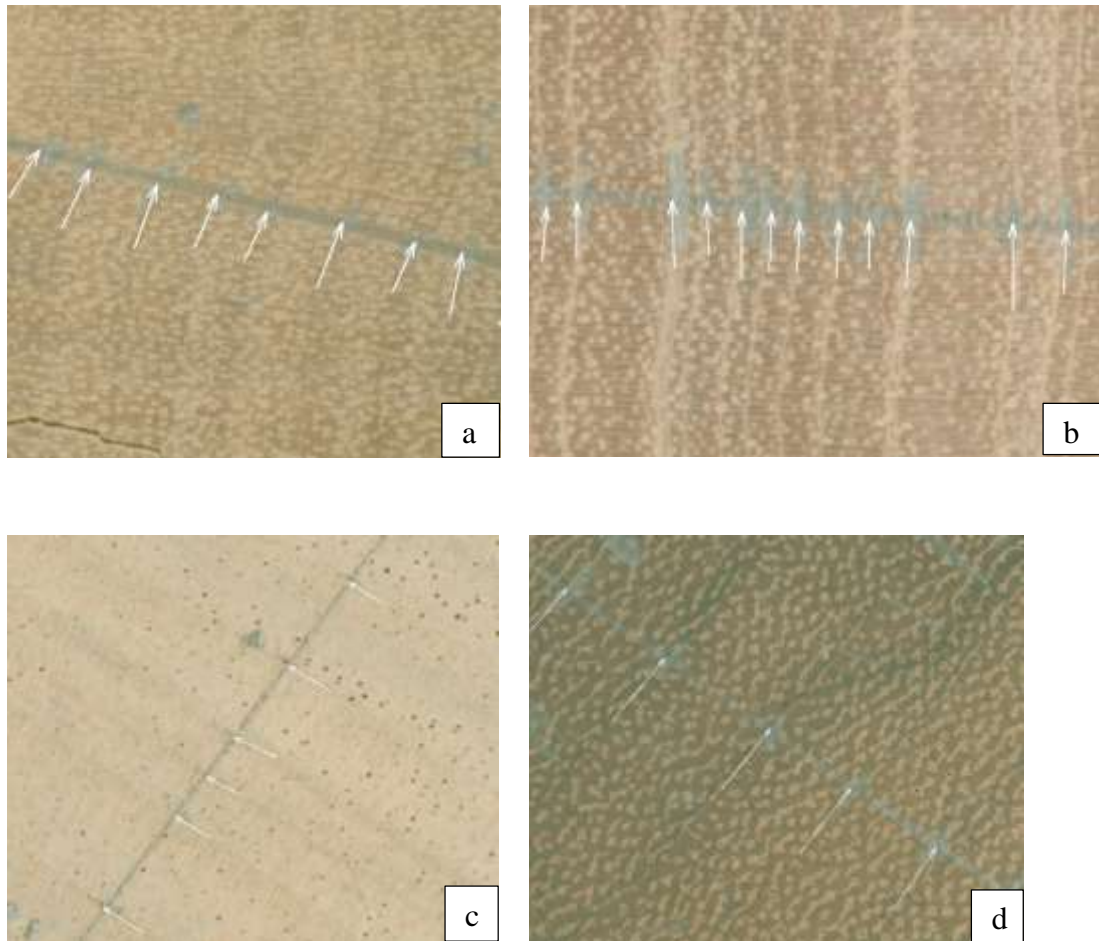


Fig. 30. Profils macroscopiques des rondelles avec les cernes marqués (flèches blanches) du séjour 1 : (a) *M. altissima* ; (b) *E. cylindricum* ; (c) *T. scleroxylon* et (d) *M. excelsa*.

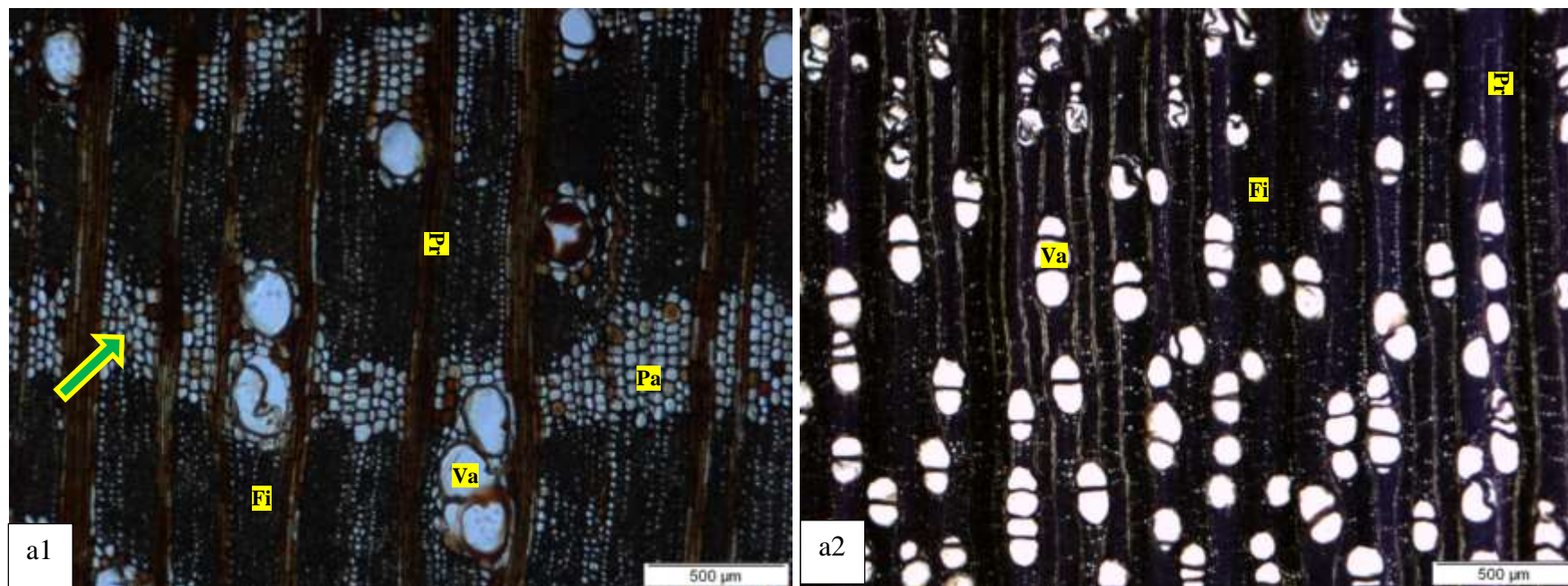


Fig. 31a. Coupe de la section transversale de la rondelle de bois a1. de *E. cylindricum* et a2. *M. altissima* montrant les limites de cernes (flèches noires), échelle microscopique : 500 µm. Fi : fibre ; Pa : parenchyme axial ; Pr : parenchyme radial et Va : vaisseau.

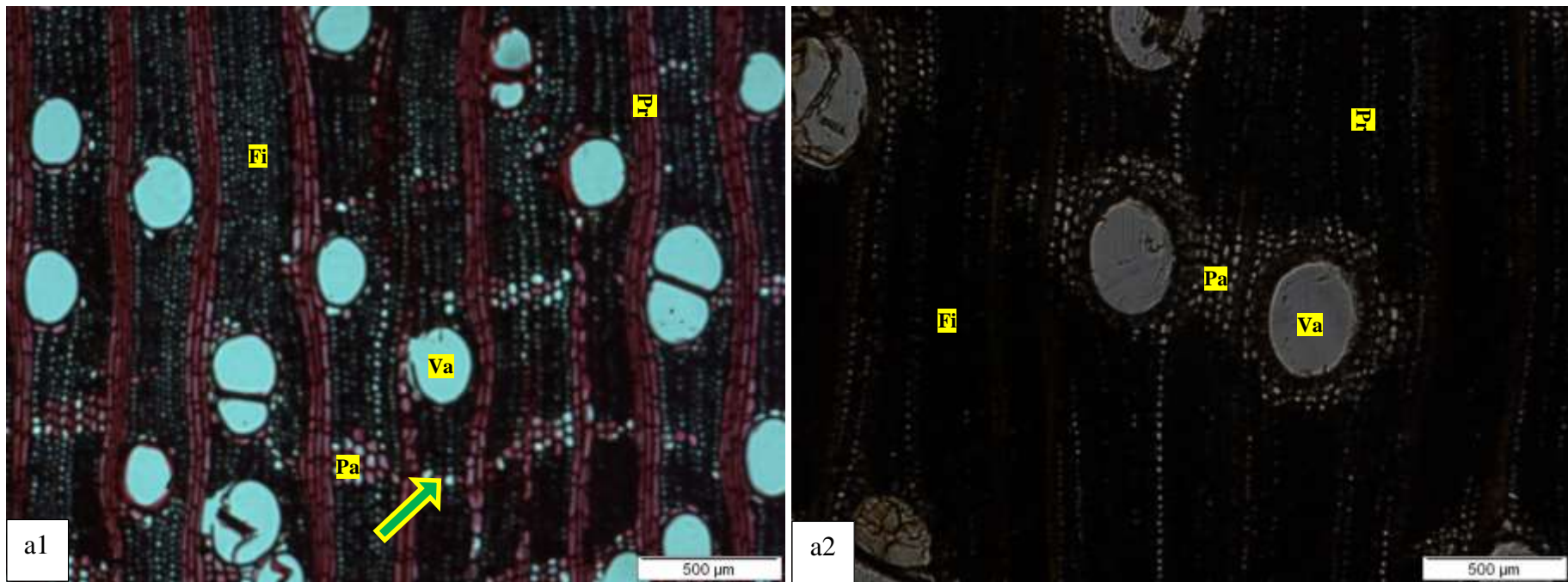


Fig. 32a. Coupe de la section transversale de la rondelle de bois a1. *M. exselca* et a2. *T. scleroxylon* montrant les limites de cernes (flèches noires), échelle microscopique : 500 µm. Fi : fibre ; Pa : parenchyme axial ; Pr : parenchyme radial et Va : vaisseau.

L'examen des sections transversales des rondelles de bois poncées et de leurs coupes anatomiques, a montré les caractéristiques distinctives des cernes. Ces caractéristiques varient entre les rondelles de bois des trois espèces étudiées (tableau XI ; XII et XIII ; Fig. 33 a ; 34b ; 35c ; Annexe 4), et d'une espèce à l'autre. Elles sont liées à des caractéristiques spécifiques à l'espèce et l'anatomie du bois.

Les limites de cernes de croissance sont suffisamment claires pour le marquage, cette visibilité dépend des largeurs des cernes. Les cernes larges sont généralement distincts mais la netteté diminue avec la baisse de la largeur des cernes. Les cernes de croissance de *T. scleroxylon*, *E. cylindricum* et *E. suaveolens* sont nettement visibles. Ceux de *T. scleroxylon* sont plus larges ($5,08 \pm 1,42$ mm) que ceux d'*E. suaveolens* ($3,51 \pm 0,81$ mm) et d'*E. cylindricum* ($2,97 \pm 0,24$ mm).

Les limites des cernes de ces trois espèces sont caractérisées par une fine bande de parenchyme, difficile à identifier pour différentes raisons.

Chez *E. cylindricum* (Annexe 4 ; tableau XI), la limite d'un cerne de croissance est dessinée par une ligne de parenchyme axial, pouvant aussi apparaître sous forme d'un fin alignement de chaînettes.

Chez *E. suaveolens* (Annexe 4 ; tableau XII), la limite des cernes est tracée par une fine ligne de parenchyme aisément repérable dans ce bois où le parenchyme est essentiellement associé aux pores. Dans le bois final, ce parenchyme forme plutôt de courtes ailes autour des pores alors que, dans le bois initial, il dessine plutôt un manchon ou un losange. Fréquemment, cette limite débute par une très fine bande de bois sans pore ni parenchyme.

Chez *T. scleroxylon* (Annexe 4 ; tableau XIII), la limite de cerne de croissance est dessinée par un parenchyme auquel ne sont associés que quelques rares pores de faible diamètre, pouvant aussi apparaître sous la forme d'un fin alignement de chaînettes.

T. scleroxylon a des limites de cernes très distinctes plus larges que les autres espèces, et l'identification de ces derniers est facile. *E. cylindricum* a aussi des limites très distinctes. Enfin *E. suaveolens* a des limites de cernes distincts mais partiellement vagues.

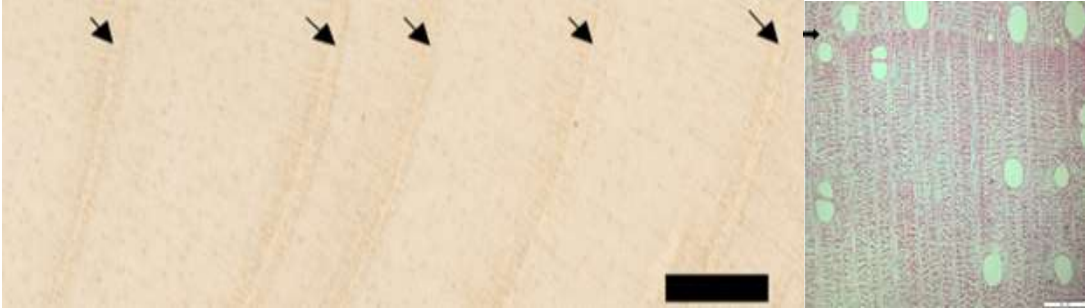
Tableau XI. Informations des cernes de croissance d'*E. cylindricum* : a. espèce, b. visibilité, c. type de limites, d. potentiel d'analyse, e. description des limites IAWA des bois durs, échelle macro : 5 mm et coupes ; échelle micro : 500 μ m, rondelle de bois avec limites de cernes (flèches noires) et anomalies (flèches blanches)

a) <i>Entandrophragma cylindricum</i> Sprague (Meliaceae), [Sapelli]	b) ++
c) Type de limites de cernes	(A) variation de densité (quelquefois) (B) bandes de parenchyme marginale (C) Alternance de fibre et de bandes de parenchyme (quelquefois)
d) Difficultés d'analyse de cernes de croissance (problèmes)	Cernes discontinus; cernes peuvent être étroits ou peu clairs
e) Potentiel d'analyse de cernes (dendrochronologie)	Potentiel est suffisant pour estimer approximativement l'âge et le taux d'accroissement radial
f) Description des limites de cernes IAWA code des bois durs	Limites de cernes distinctes; Limites de cernes indistinctes ou absentes

Tableau XII. Informations des cernes de croissance d'*E. suaveolens* : a. espèce, b. visibilité, c. type de limites, d. potentiel d'analyse, e. description des limites IAWA des bois durs, échelle macro : 5 mm et coupes ; échelle micro : 500 μ m, rondelle de bois avec limites de cernes (flèches noires) et anomalies (flèches blanches)

a) <i>Erythrophleum suaveolens</i> Guill. & Perr. (Fabaceae- Ceasalpinioideae), [Tali]	b) +/-
c) Type de limites de cernes	(A) variation de densité (quelquefois) (B) bandes de parenchyme marginale
d) Difficultés d'analyse de cernes de croissance (problèmes)	Cernes discontinus particulièrement dans les périodes de croissance lente, les cernes peuvent être vague a certaines portions des rondelles
e) Potentiel d'analyse de cernes (dendrochronologie)	Potentiel est suffisant pour estimer approximativement l'âge et le taux d'accroissement radial
f) Description des limites de cernes IAWA code des bois durs	Limites de cernes distinctes; Limites de cernes indistinctes ou absentes

Tableau XIII. Informations des cernes de croissance de *T. scleroxylon* : a. espèce, b. visibilité, c. type de limites, d. potentiel d'analyse, e. description des limites IAWA des bois durs, échelle macro : 5 mm et coupes ; échelle micro : 500 µm, rondelle de bois avec limites de cernes (flèches noires)

a) <i>Triplochiton scleroxylon</i> K.Schum (Malvaceae), [Ayouis]	b) ++
c) Type de limites de cernes	(B) bandes de parenchyme marginale
d) Difficultés d'analyse de cernes de croissance (problèmes)	Cerne discontinu Faux cerne
e) Potentiel d'analyse de cernes (dendrochronologie)	Très bon potentiel pour estimer approximativement l'âge et le taux d'accroissement radial
f) Description des limites de cernes IAWA code des bois durs	Limites de cernes distinctes
	

Les caractéristiques anatomiques des limites de cerne de croissance, ont été classées en quatre catégories : (A) variation de la densité du bois, (B) bande de parenchyme marginal, (C) alternance de bandes de parenchyme et fibres, et (D) densité de vaisseaux ou variation de la taille des vaisseaux comme proposée par Coster (1929) ; Alfonso *et al.*, (1989) ; Worbes (1995) ; Worbes et Fichtler (2010).

Des informations supplémentaires sur les limites des cernes de ces trois espèces sont fournies avec les images scans, les difficultés et le potentiel d'analyse des cernes (tableau XI ; XII et XIII ; Annexe 4).

Tous les types de limites de cernes et aussi des combinaisons entre eux ont été observés. Type A (les variations de densité, une ou plusieurs lignes tangentielles de fibres avec des parois cellulaires épaissies) et Type B (bande de parenchyme marginal) étaient les deux types les plus courants de limite de cerne, ainsi que des combinaisons entre eux ont été observés.

Du point de vue anatomique, la limite de cerne de croissance chez *E. cylindricum* correspond à une bande de parenchyme marginal continu de 3 à 4 rangées cellules associées à très peu de petits vaisseaux (type B), parfois combinés avec l'alternance des bandes de fibres

et de parenchymes (type C) et, parfois, de la variation de densité du bois (type A) (Annexe 4 ; tableau XI ; Fig. 33a).

Pour *E. suaveolens*, la limite de cerne de croissance correspond à des variations de la densité du bois marquées par des fibres à parois épaisses (type A) et d'une bande discontinue de parenchyme marginal (type B) (Annexe 4 ; tableau XII ; Fig. 34 b).

Chez *T. scleroxylon*, la limite de cerne de croissance est une ligne continue de parenchyme marginal de 1 à 4 cellules associées à de grands vaisseaux (type B), qui peut également apparaître comme une fine ligne de chaînes, avant cette ligne le bois a une teinte plus foncée (bois final) en raison de l'épaississement des parois des fibres, après cette ligne, le bois prend une couleur plus claire (bois initial) combiné à la variation de la densité du bois (type A) (Annexe 4 ; tableau XIII ; Fig. 35 c).

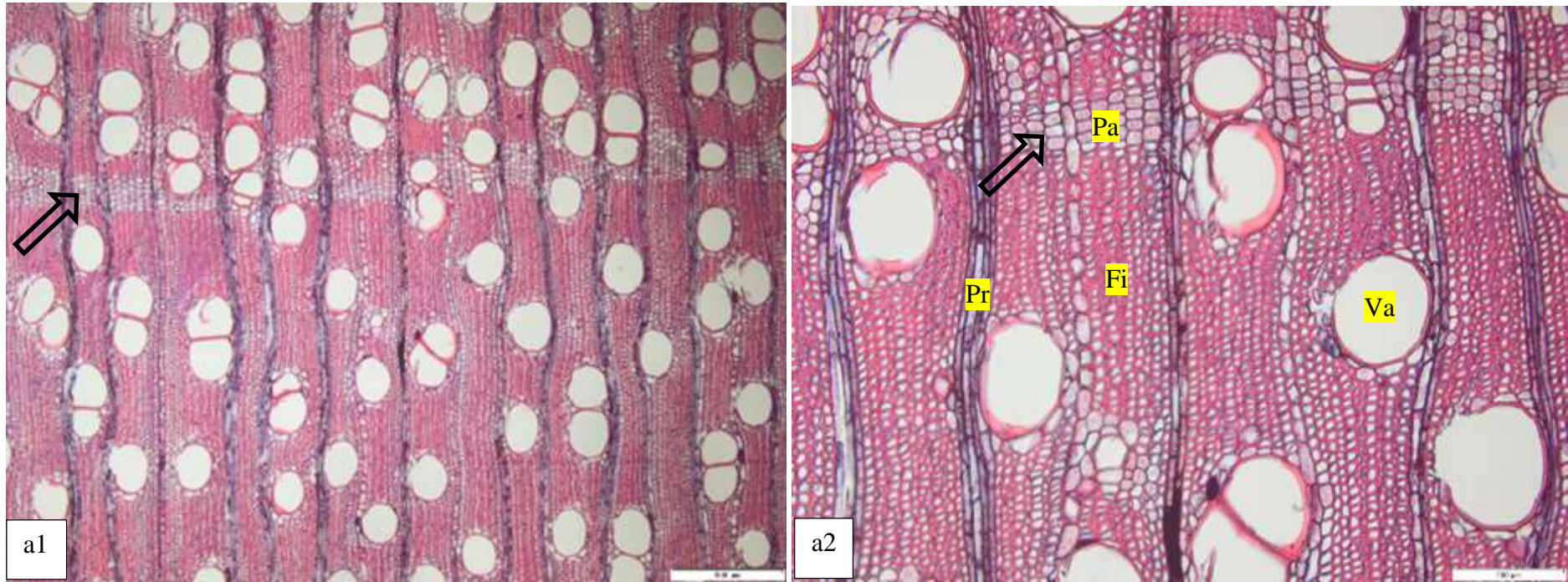


Fig. 33a. Coupe de la section transversale de la rondelle de bois de *E. cylindricum* montrant les limites de cernes (flèches noires), échelles micro : 500 μm (a1 ; b1 et c1) et 200 μm (a2 ; b2 et c2), Fi : fibre ; Pa : parenchyme axial ; Pr : parenchyme radial et Va : vaisseau.

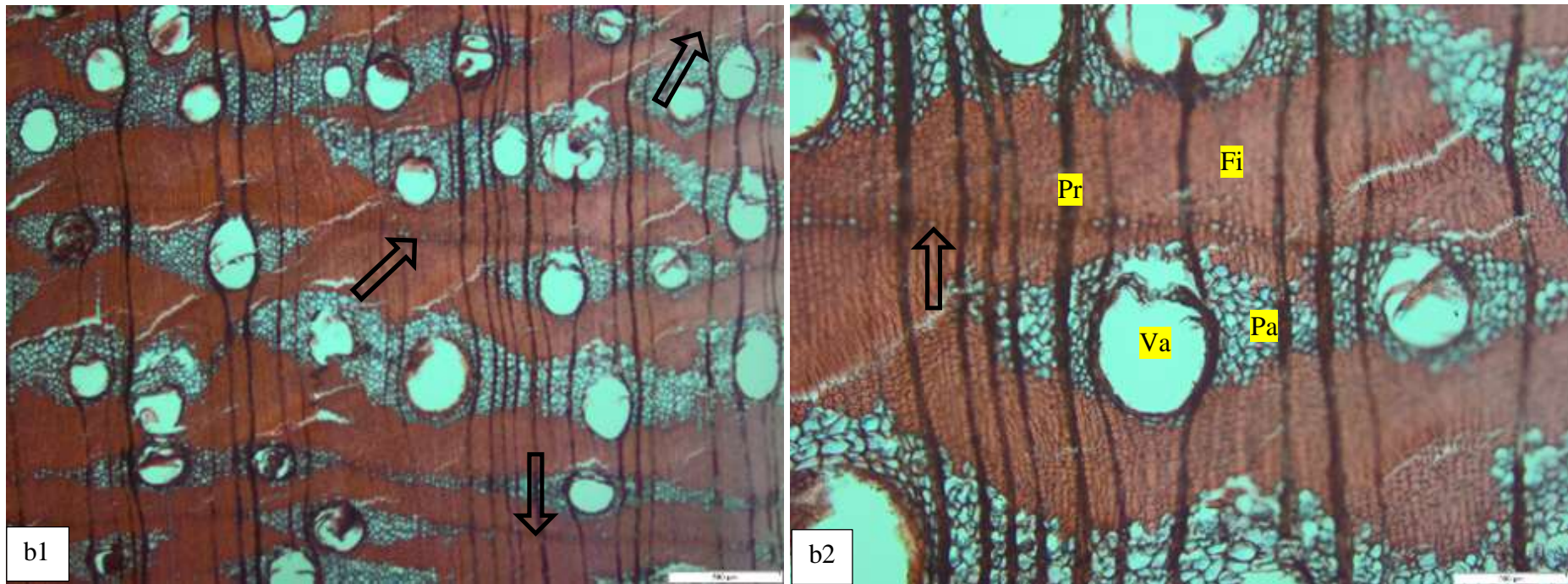


Fig. 34b. Coupe de la section transversale de la rondelle de bois de *E. suaveolens* montrant les limites de cernes (flèches noires), échelles micro : 500 μm (b_1) et 200 μm (b_2), Fi : fibre ; Pa : parenchyme axial ; Pr : parenchyme radial et Va : vaisseau.

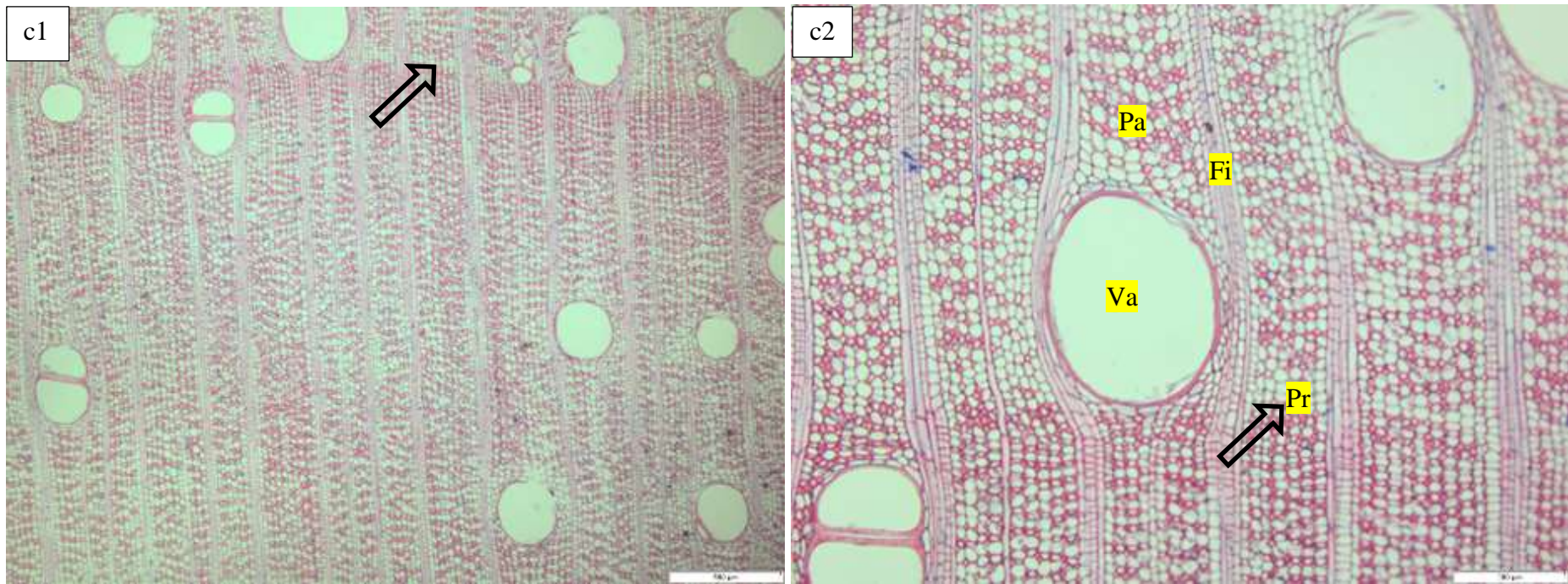


Fig. 35c. Coupe de la section transversale de rondelle de bois de *T. scleroxylon* montrant les limites de cernes (flèches noires), échelles micro : 500 µm (c₁) et 200 µm (c₂), Fi : fibre ; Pa : parenchyme axial ; Pr : parenchyme radial et Va : vaisseau.

Le bois de toutes ces espèces est à pores diffus (Annexe 4). Il est assez difficile d'identifier les cinq premiers cernes à partir de la moelle (cernes juvéniles) et ceux situés près de l'écorce. Quelques rondelles de bois ont montré une différence de croissance entre les rayons (transects), et aussi des centres asymétriques. La fluctuation intra-annuelle de densité est faite des limites peu marquées qui peuvent se distinguer morphologiquement comme de véritables cernes annuels, par leur caractère discontinu ou leur structure diffuse et sont souvent liées à des zones de croissance plus larges.

Cette fluctuation est l'un des plus fréquents problèmes rencontrés.

Le pourcentage d'anomalie est respectivement de 13,56 % pour *E. cylindricum* ; de 10,88 % pour *E. suaveolens* et 6,48 % pour *T. scleroxylon* (tableau XIV).

Tableau XIV. Fréquence des principales anomalies d'analyses des cernes pour les trois espèces,

Nc : nombre total de cerne par transect ; Fc : faux cernes, Cd : cernes discontinus.

Espèce	Twn°	Ø à ± 1 m du sol (cm)	Transect/Rayon									Moy enne	% d'anom alies	Nr/T/R	
			1			2			3					Fc	Cd
			Nc	Fc	Cd	Nc	Fc	Cd	Nc	Fc	Cd				
<i>T. scleroxylon</i>	Tw67112	51,2	87	1	3	85	1	1	85	2	2	1	2	4,70	85
	Tw69249	46,6	80	2	2	76	1	4	78	2	3	2,5	4,5	8,75	80
	Tw69250	36,4	57	2	2	55	2	2	57	2	3	2	2	7,27	55
	Tw69254	46,4	87	3	4	86	1	2	84	2	3	2	3	5,81	86
	Tw69255	44,4	83	2	6	85	1	4	85	3	5	2	5	8,14	86
	Tw69258	42,1	81	2	3	82	3	5	81	4	4	3	4	8,64	81
	Tw69259	44,7	83	3	6	82	2	3	82	1	3	2	4	7,23	83
	Tw69274	39,8	66	1	3	66	2	4	67	0	2	1	3	6,06	66
	Tw69262	58,6	82	1	3	81	2	4	81	3	2	2	3	6,09	82
	Tw69263	50,7	67	1	3	68	0	1	68	2	2	1	2	4,41	68
	Tw69282 a	15,2	68	1	2	69	0	3	66	2	1	1	2	4,47	67
	Tw69282 b	15,2	65	2	3	68	1	2	70	0	4	1	3	5,97	67
											2	3	6,43	----	
<i>E. cylindricum</i>	Tw69251	37	112	6	12	110	4	12	--	--	--	5	12	14,78	115
	Tw69261	41,6	129	5	8	125	4	13	--	--	--	4,5	10,5	11,29	131
	Tw69267	45,6	143	3	13	139	2	8	--	--	--	2,5	10,5	9,03	144
	Tw69271	52,8	165	4	14	167	3	10	--	--	--	3,5	12	9,17	169
	Tw69275	39	127	4	12	130	2	10	--	--	--	3	11	10,68	131
	Tw69278	16,2	67	2	6	69	3	8	--	--	--	2,5	7	14,17	67
	Tw69279	9,2	31	1	3	31	2	3	--	--	--	1,5	3	14,51	31
	Tw69280	29,3	102	3	7	105	4	10	--	--	--	3,5	8,5	11,32	106
											2	9	13,56	----	
	Tw67114	44,8	134	5	14	138	3	18	--	--	--	4	16	14,70	136
	Tw69247	35,1	112	3	8	105	1	12	---	---	---	2	10	11,11	108
	Tw69252	49,7	127	5	11	125	3	14	--	--	--	4	13	13,38	127

Espèce	Twn°	Ø à ± 1 m du sol (cm)	Transect/Rayon									Moy enne	% d'anom alies	Nr/T/R	
			1			2			3					Fc	Cd
			Nc	Fc	Cd	Nc	Fc	Cd	Nc	Fc	Cd				
<i>E. suaveolens</i>	Tw69253	61,9	131	2	10	128	2	12	--	--	--	2	11	9,70	134
	Tw69254	45	115	3	12	121	3	14	--	--	--	3	13	13,44	119
	Tw69260	43,5	139	2	9	132	6	15	--	--	--	4	12	11,42	140
	Tw69264	45,3	112	3	15	110	4	17	--	--	--	4	16	17,54	114
	Tw69265	36,7	121	4	12	118	5	18	--	--	--	4	15	15,57	122
	Tw69266	41,7	87	3	7	90	2	11	--	--	--	2	9	11,57	95
	Tw69273	46,8	93	2	4	95	3	4	--	--	--	2	4	6,18	97
	Tw69274	35,1	85	2	3	86	2	5	--	--	--	2	4	6,89	87
	Tw69276	23,9	82	2	4	84	3	4	--	--	--	2	6	9,30	86
	Tw69277	15,7	62	2	7	63	2	6	--	--	--	2	6	12,30	65
	Tw69283	27,6	100	6	9	102	4	8	--	--	--	5	8	12,38	105
	Tw69113	35,4	106	3	10	108	2	8	--	--	--	2	9	10,09	109
												3	10	10,88	----

III.1.1.3. Estimation des âges (arbres, aux DMEs et biologiques de rotation)

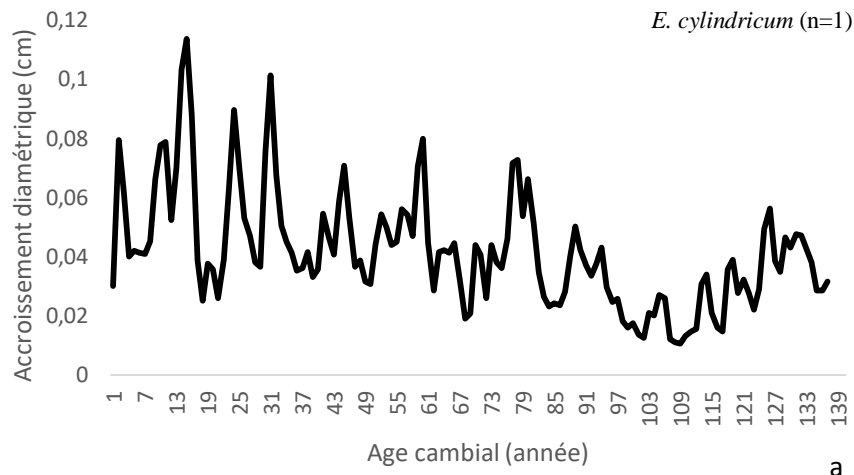
III.1.1.3.1. Estimation des âges de la 1^{ière} phase

Les quatre espèces du séjour 1 présentent une très grande différence d'âge/durée de vie et accroissement diamétrique par espèce. *E. cylindricum* et *M. altissima* ont les plus longues durées de vie/âges, respectivement (1876 - 2013 soit 137 ans et 1887 - 2013 soit 126 ans) tandis que *M. excelsa* a une durée de vie moyenne (1927-2013 soit 87 ans) et *T. scleroxylon* a la durée de vie la plus courte (1948 - 2013 soit 67 ans) (tableau XV. ; Fig. 36).

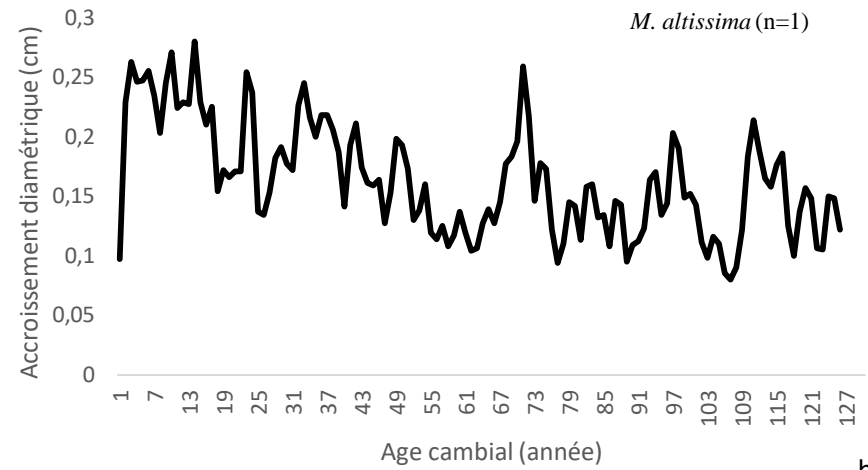
Tableau XV. Rondelles par arbres/espèces et transects pour l'estimation de cernes/et de l'âge cambial et de la durée de croissance.

Espèce	N° Tw	Nombre de transects	Ø moyen (cm)	Nombre de cernes/âges cambials	Intervalle de croissance
<i>E. cylindricum</i>	Tw 69076	2	115	137	1876-2013
	Tw 69077	2			
<i>M. altissima</i>	Tw 69084	2	64	126	1887-2013
	Tw 69085	2			
<i>M. excelsa</i>	Tw 69067	2	102	86	1927-2013
	Tw 69068	2			

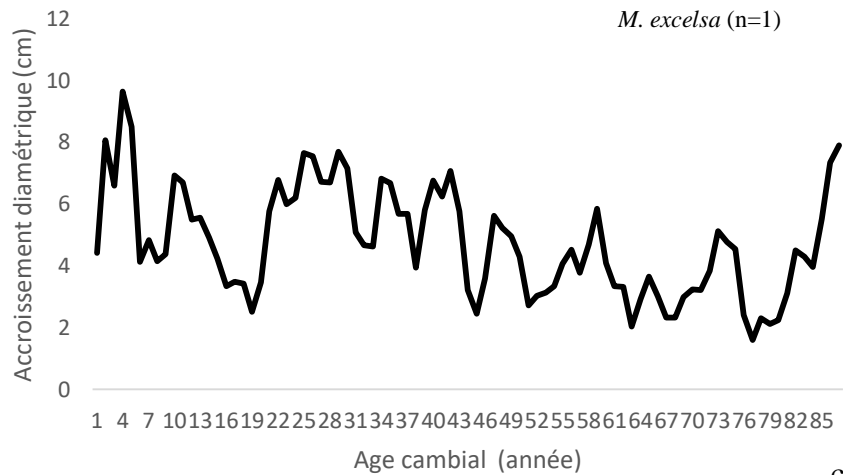
Espèce	N° Tw	Nombre de transects	Ø moyen (cm)	Nombre de cernes/âges cambials	Intervalle de croissance
	Tw 69069	2			
<i>T. scleroxylon</i>	Tw 69070	2	92	67	1948-2013
	Tw69071	2			
	Tw69072	2			



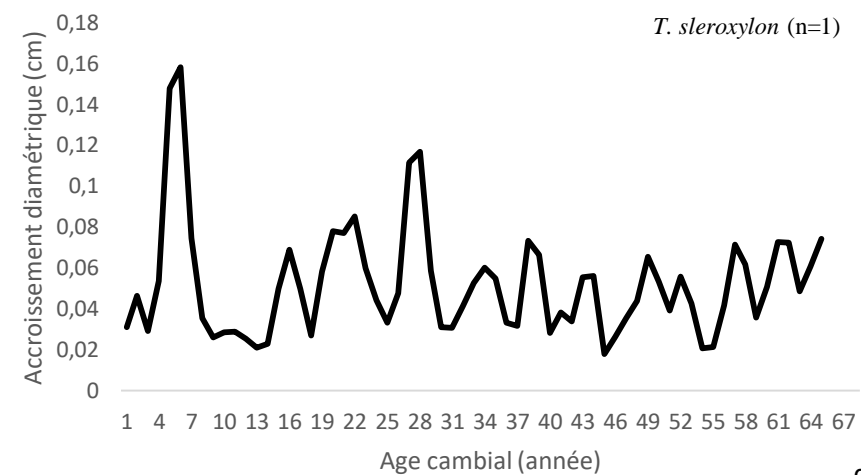
a



b



c



d

Fig. 36. Trajectoires de croissance (accroissements diamétriques cumulés) en fonction de la durée de vie (âge cambial) pour les quatre espèces des forêts semi-décidues du Cameroun : (a) *E. cylindricum* ; (b) *M. altissima* ; (c) *M. excelsa* et (d) *T. scleroxylon*.

III.1.1.3.2. Estimation des âges de la 2nde phase

III.1.1.3.2.1. Coefficient de coïncidence des séries de largeur de cernes

Les GIK (coefficients de coïncidence) qui résultent du SOP DHXCT permettent de faire des comparaisons des transects, par individu et par espèce. Ces résultats donnent une idée claire sur la synchronisation des séries de largeurs de cernes. Pour toutes ces espèces la synchronisation est parfaite soit une valeur diagonale 1 qui représente la synchronisation entre le même transect, les valeurs des premières lignes sont similaires aux valeurs des premières colonnes (tableau XVI ; XVII ; XVIII).

Les GIK des 11 transects de *E. cylindricum* représentent 8 individus, dont une rondelle de bois pour : Tw69251 ; Tw69261 ; Tw69267 ; Tw692671 ; Tw69275. Et deux rondelles pour : Tw69278a et Tw69278b ; Tw69279a et Tw69279b et Tw69280a et Tw 69280b (tab.XIV).

Chez *E. suaveolens*, les GIK des 17 transects représentant 15 individus dont ceux ayant deux transects par rondelle de bois : Tw 69247a et Tw69247b ; Tw69276a et Tw69276b. Et un transect par rondelle de bois : Tw67114 ; Tw69113 Tw69260 ; Tw69252 ; Tw69253 ; Tw69254 ; Tw69264 ; Tw69265 ; Tw69266 ; Tw69273 ; Tw69274 ; Tw69277 ; Tw69283 (tableau XV).

Chez *T. scleroxylon*, les GIK des 36 transects représentant 15 individus dont ceux ayant trois transects par rondelle de bois : Tw67112-1, Tw67112-2 et Tw67112-3 ; Tw69249-1, Tw69249-2 et Tw69249-3 ; Tw69250-1, Tw69250-2 et Tw69250-3 ; Tw69254-1, Tw69254-2 et Tw69254-3 ; Tw69255-1, Tw69255-2 et Tw69255-3 ; Tw69259-1, Tw69259-2 et Tw69259-3 ; Tw69262-1, Tw69262-2 et Tw69262-3 ; Tw69263-1, Tw69263-2 et Tw69263-3 ; Tw69274-1, Tw69274-2 et Tw69274-3 ; Tw 69281b-1, Tw69281b-2 et Tw69281b-3 ; Tw69282a-1, Tw69282a-2 et Tw69282a-3. Un transect par rondelle de bois : Tw69247a (tableau XVI).

III.1.1.3.2.2. « cross correlation function » des séries de largeur de cernes par espèce

Pour ces trois espèces, les séries de largeurs de cerne ne sont pas synchrones d'où la difficulté de déterminer les années caractéristiques « pointer year » et de bâtir les chronologies de références pour chacune d'elle. Les « cross correlation function » entre les séries de largeur de cernes entre les transects d'une même espèce montrent que ces dernières ne sont pas synchrones, et de ce fait il est impossible de bâtir une chronologie pour chacune de ces espèces. C'est le cas de *E. cylindricum* (35) ; *E. suaveolens* (Fig. 37 et 38) et *T. scleroxylon* (Fig. 39, 40 et 41).

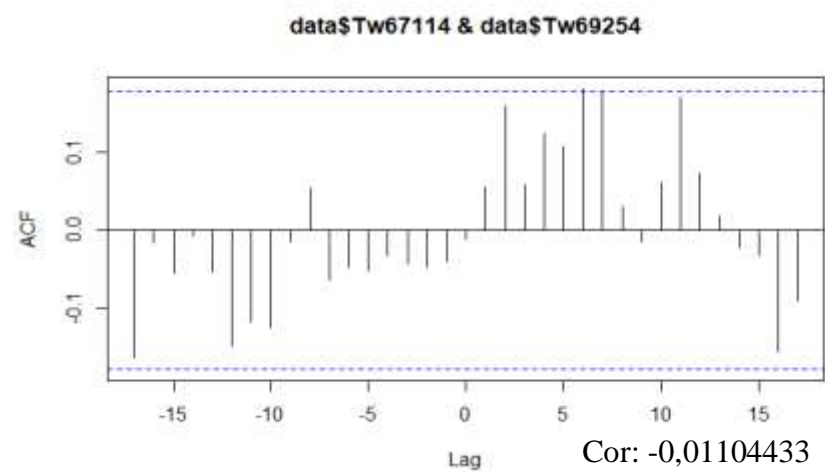
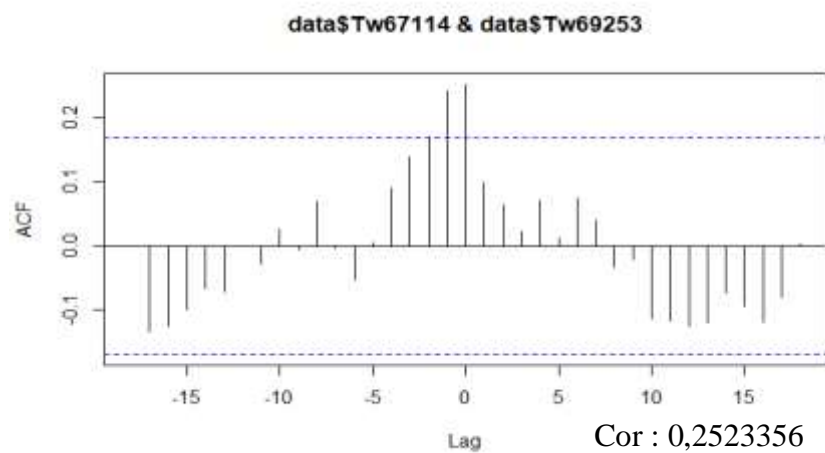
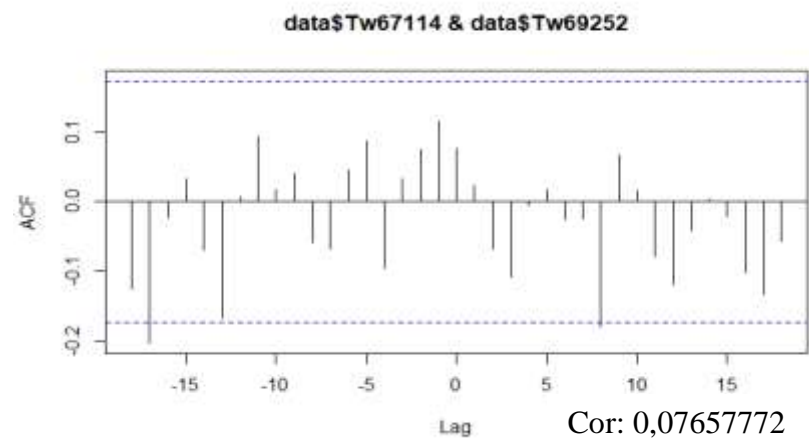
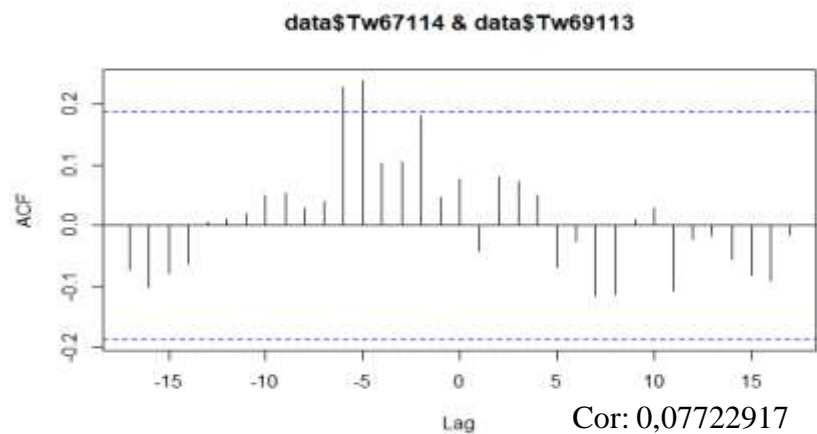


Fig. 37. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *E. suaveolens* : Tw67114 et Tw69113 ; Tw67114 et Tw69252 ; Tw67114 et Tw69253 ; Tw67114 et Tw69254.

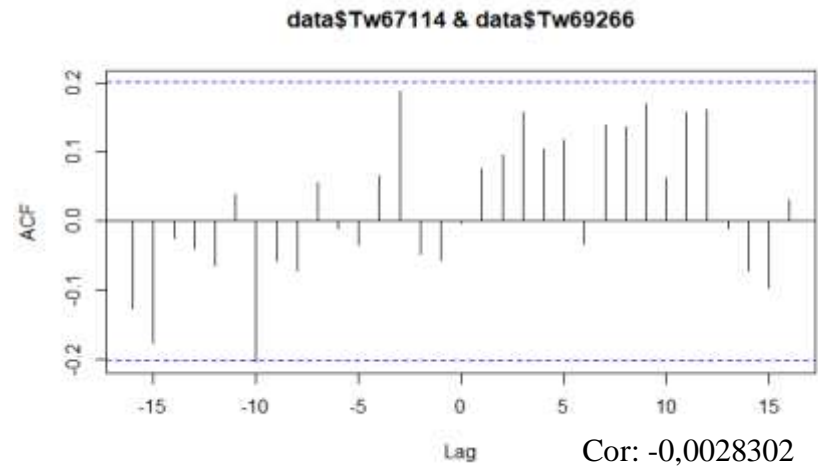
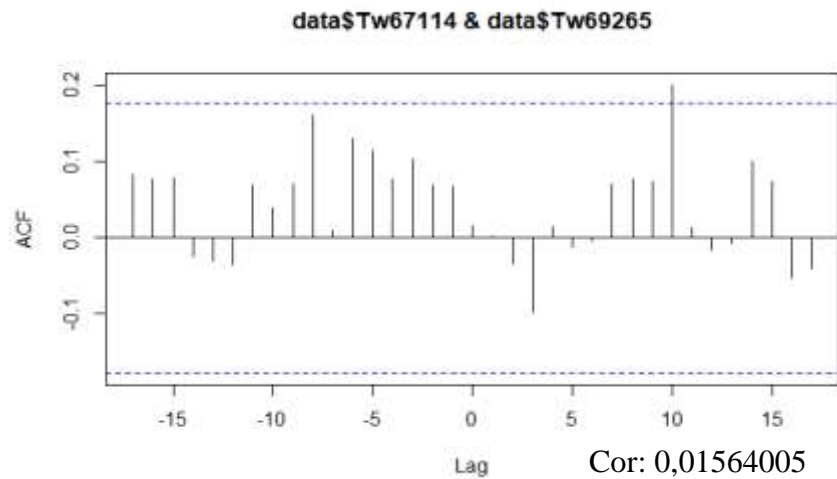
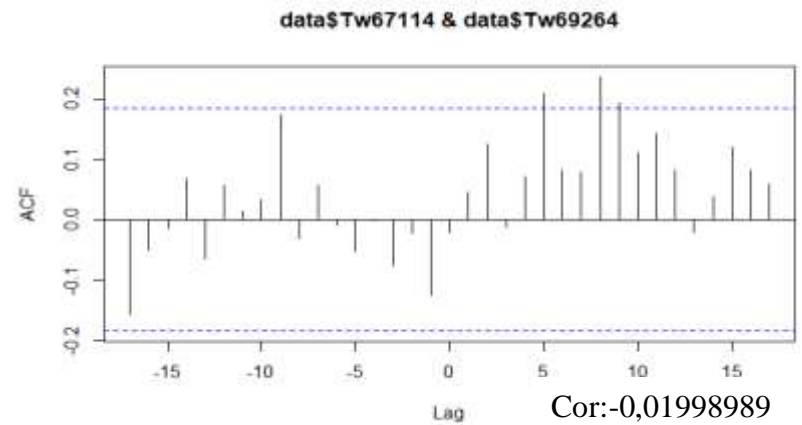
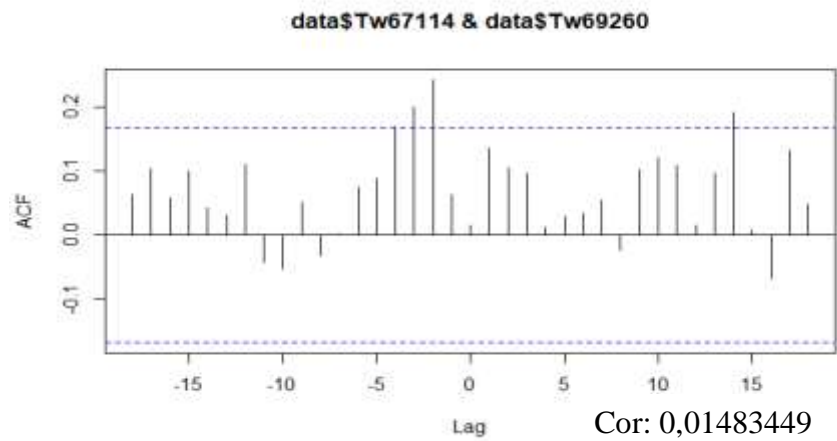


Fig. 38. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *E. suaveolens* : Tw67114 et Tw69260 ; Tw67114 et Tw69264 ; Tw67114 et Tw69265 ; Tw67114 et Tw69266.

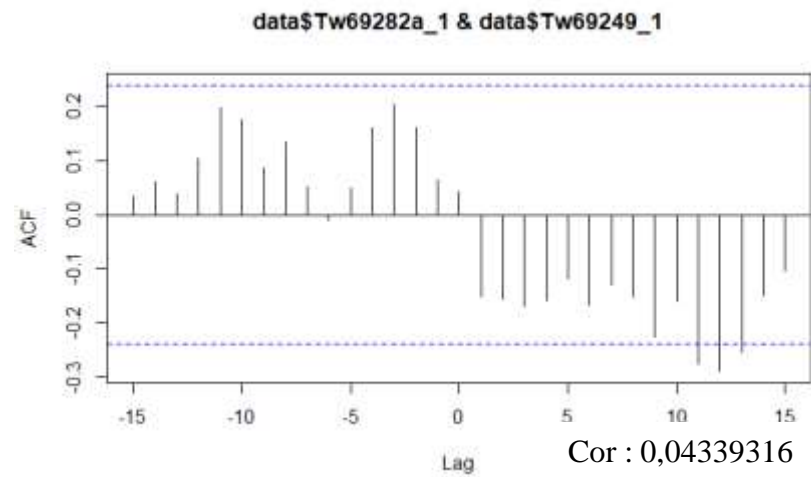
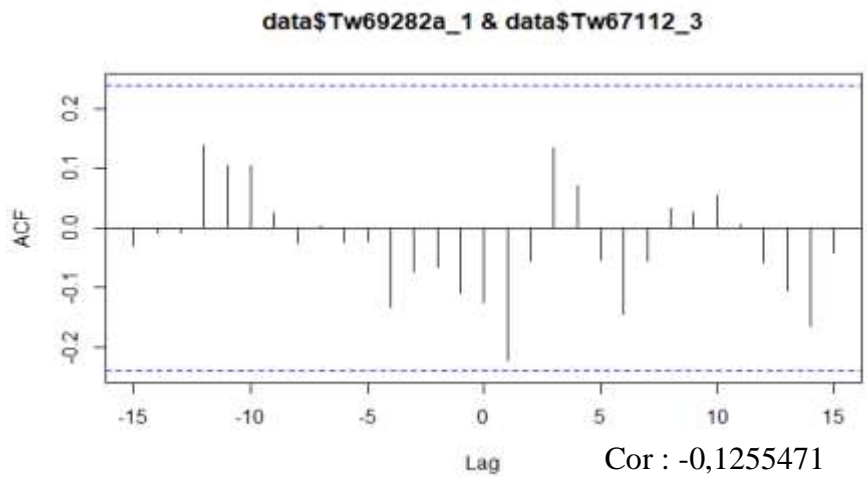
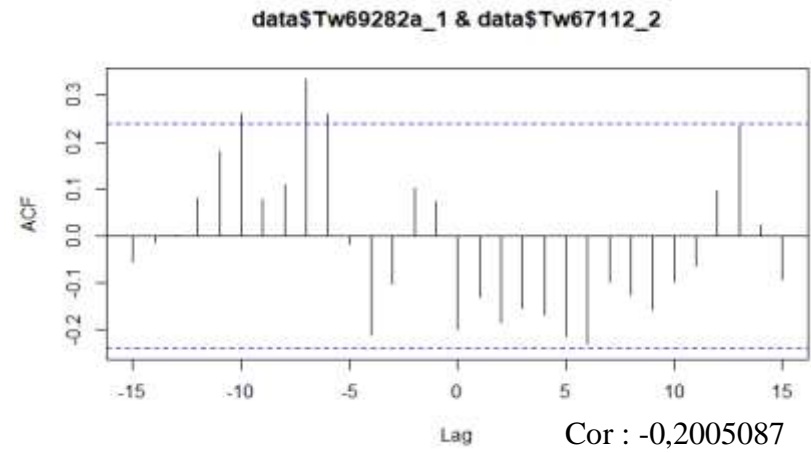
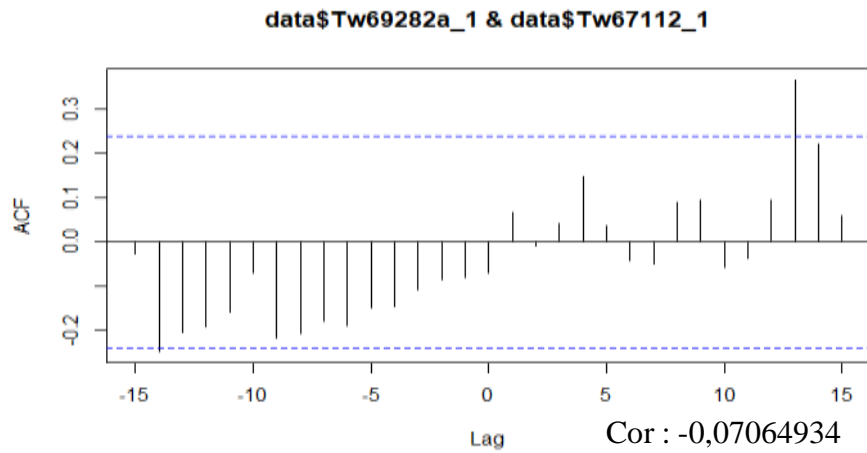


Fig. 39. Corrélrogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-1 et Tw67112-1; Tw69282a-1 et Tw67112-2 ; Tw69282a-1 et Tw67112-3 ; Tw69282a-1 et Tw69249-1.

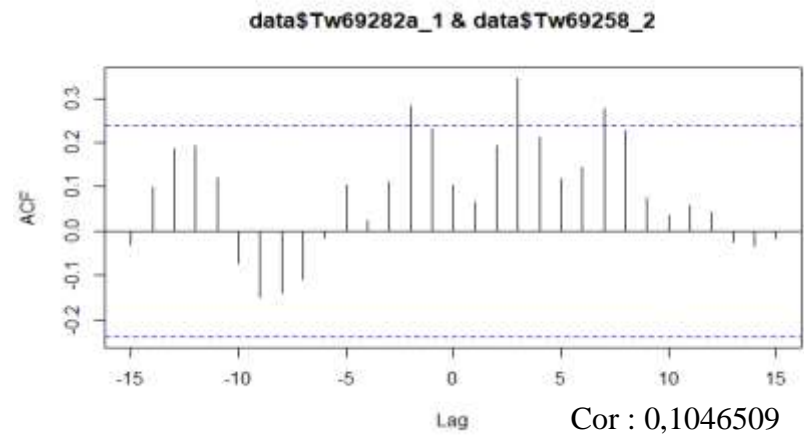
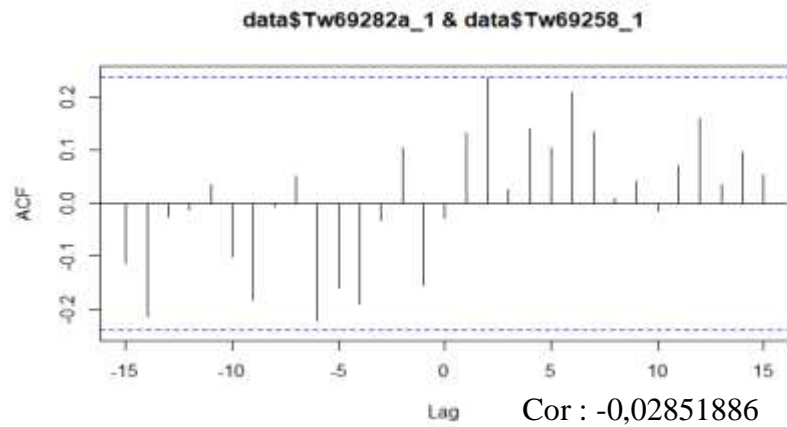
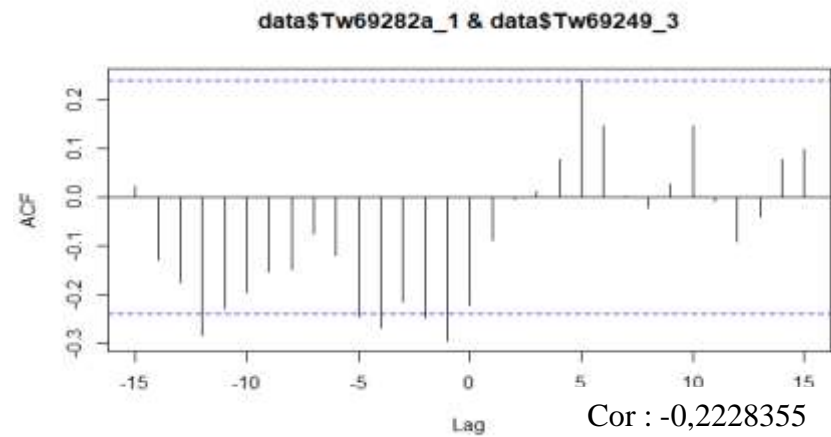
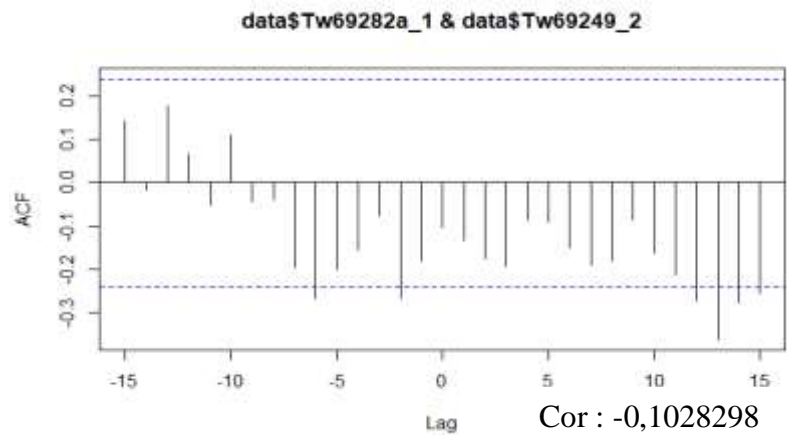


Fig. 40. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-1 et Tw69249-1; Tw69282a-1 et Tw69242-2 ; Tw69282a-1 et Tw69258-1 ; Tw69282a-1 et Tw69258-2.

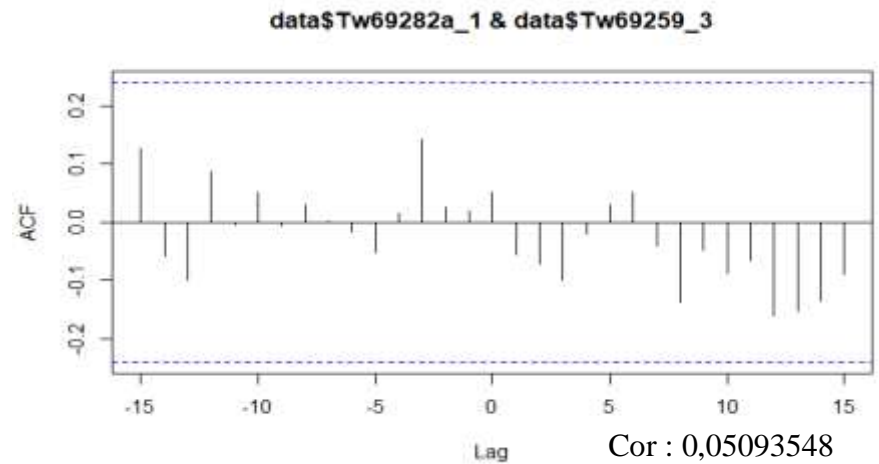
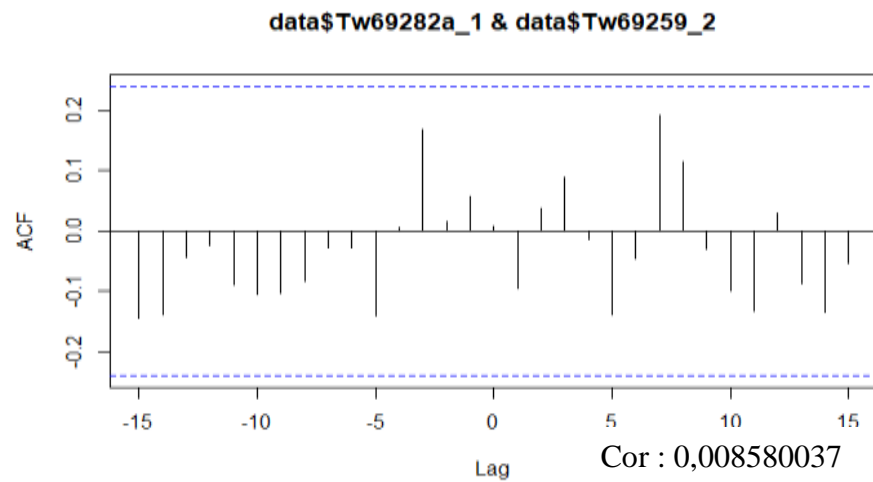
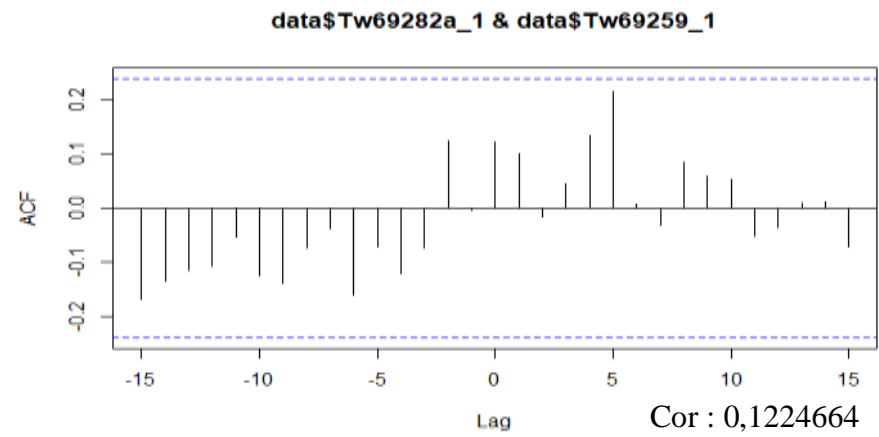
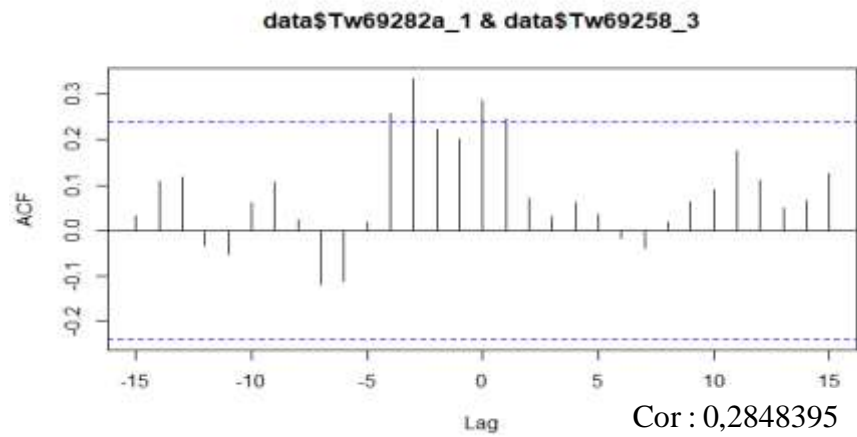


Fig. 41. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-1 et Tw69258-3 ; Tw69282a-1 et Tw69259-1 ; Tw69282a-1 et Tw69259-2 ; Tw69282a-1 et Tw69259-3.

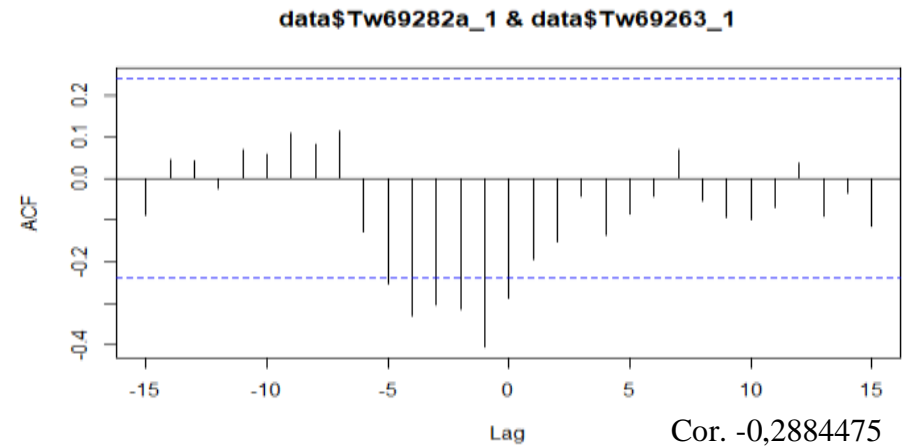
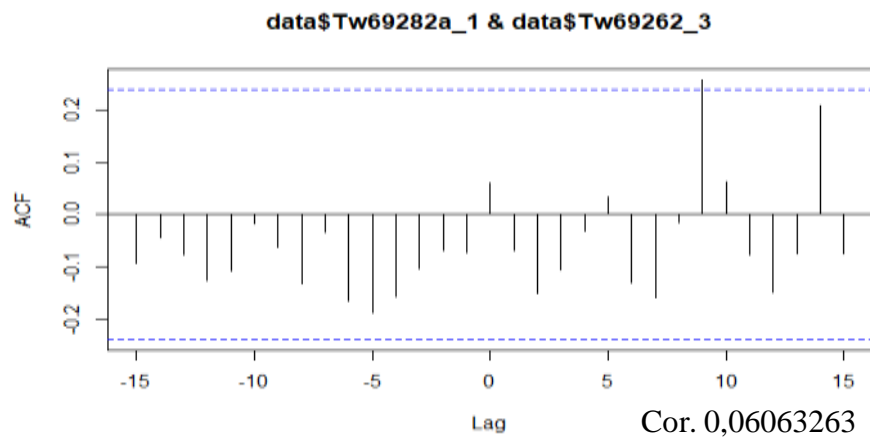
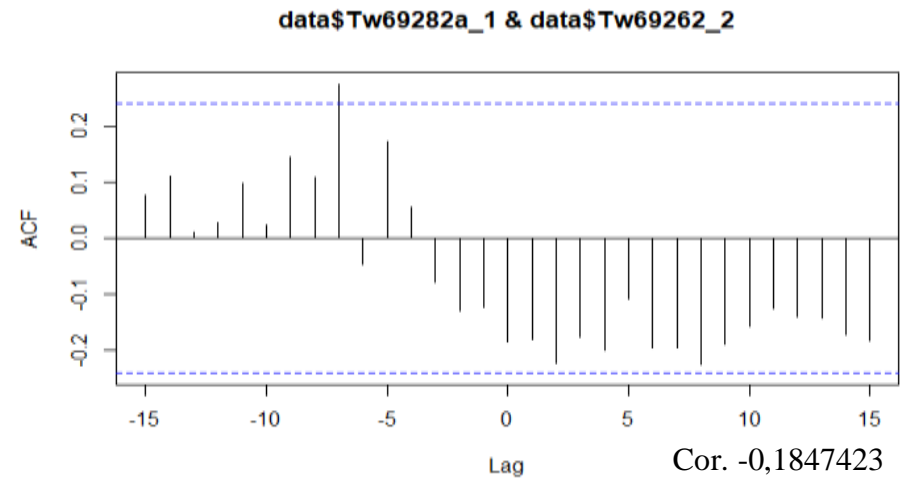
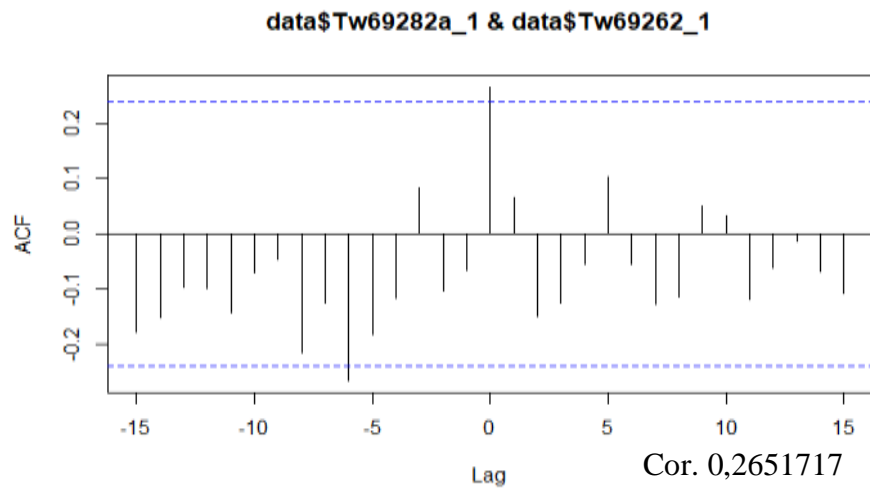


Fig. 42. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-1 et Tw69262-1 ; Tw69282a-1 et Tw69262-2 ; Tw69282a-1 et Tw69262-3 ; Tw69282a-1 et Tw69263-1.

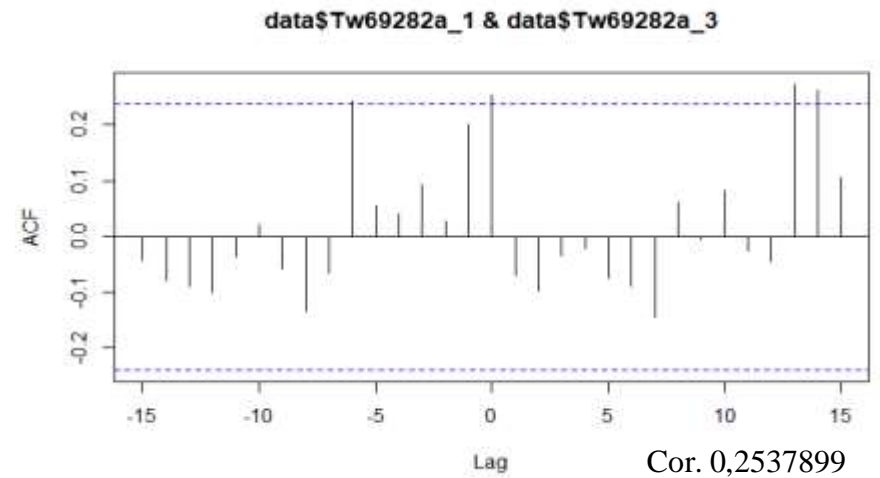
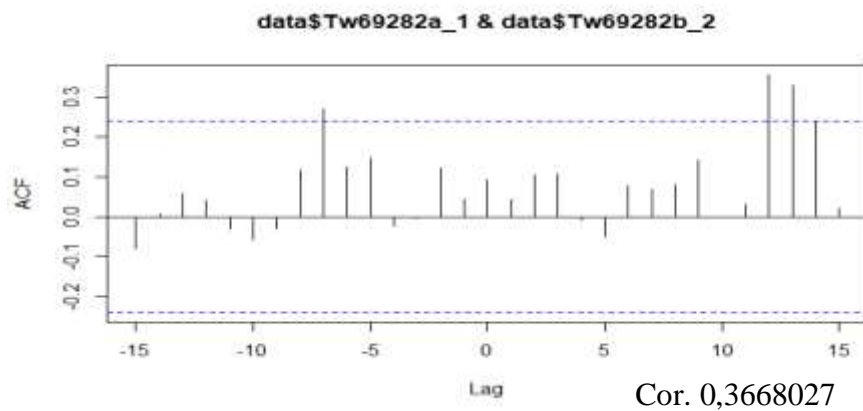
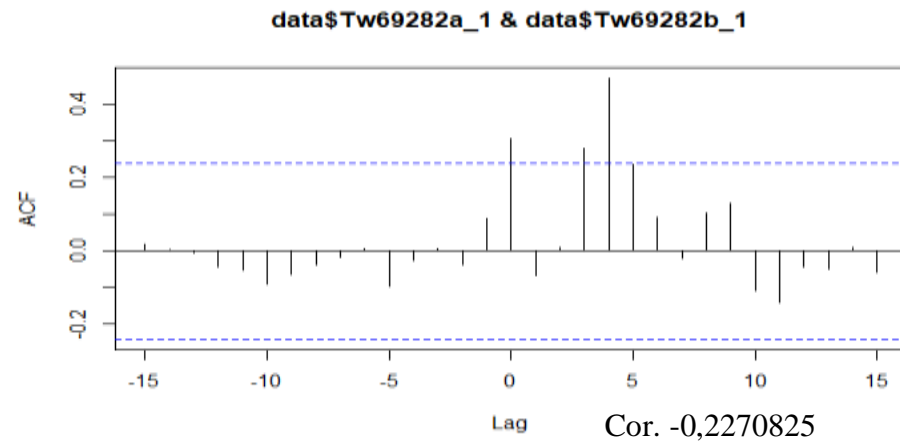
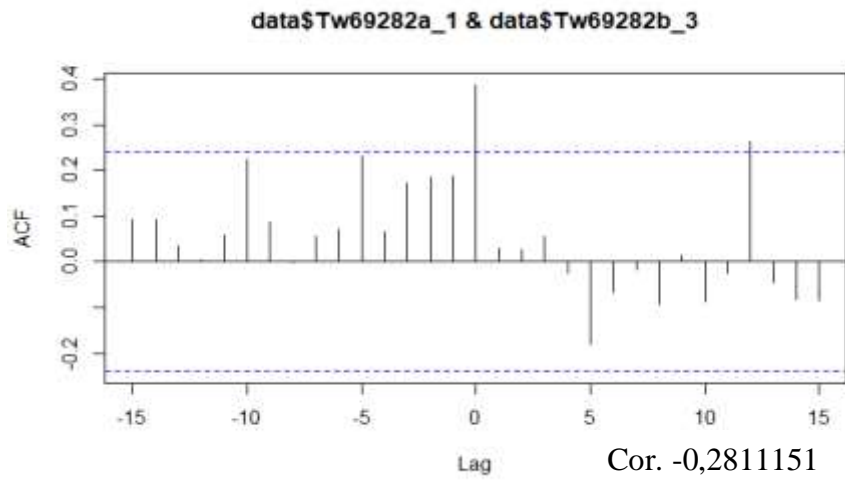


Fig. 43. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-1 et Tw69282b-3 ; Tw69282a-1 et Tw69282b-1 ; Tw69282a-1 et Tw69282b-2 ; Tw69282a-1 et Tw69282a-3.

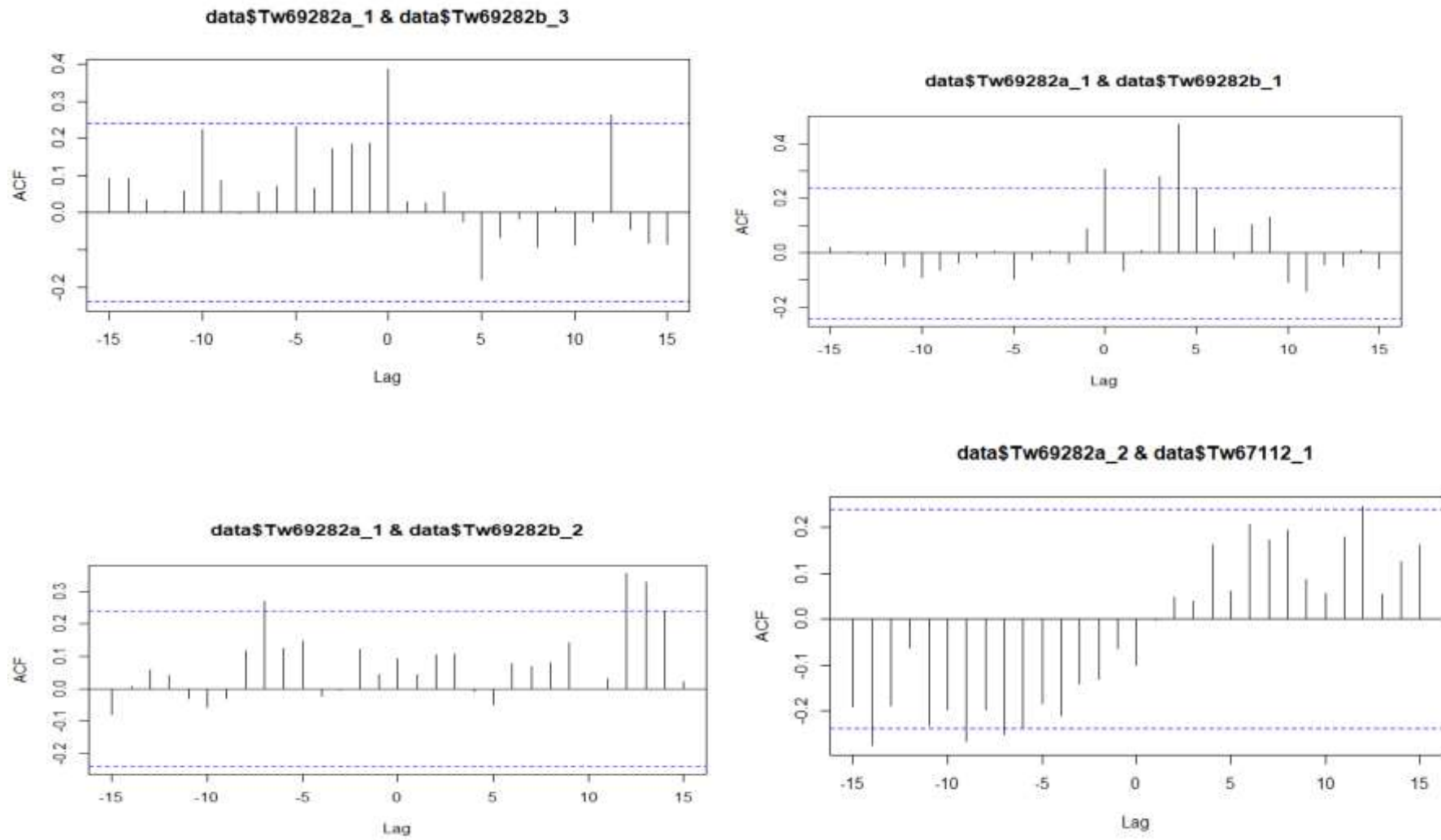


Fig. 44. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-1 et Tw69282b-3 ; Tw69282a-1 et Tw69282b-1 ; Tw69282a-1 et Tw69282b-2 ; Tw69282a-2 et Tw67112-1.

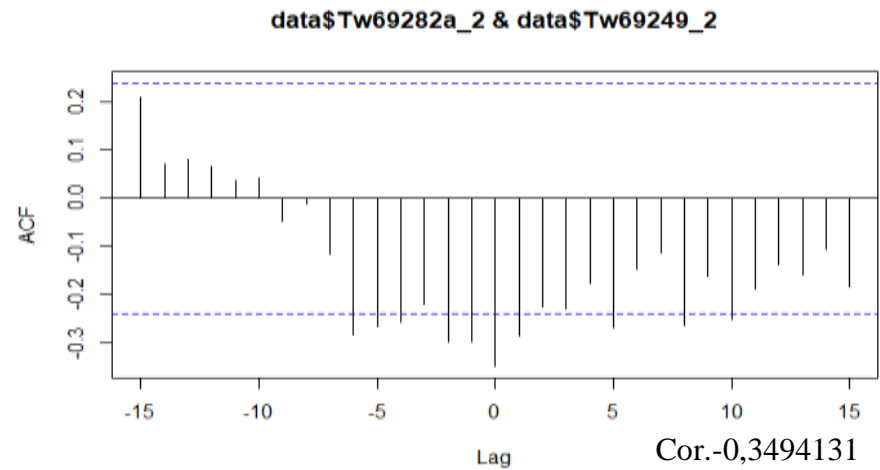
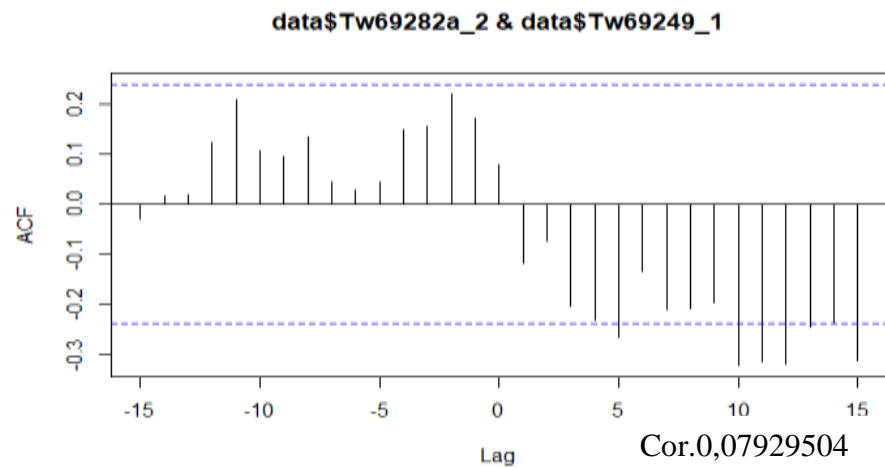
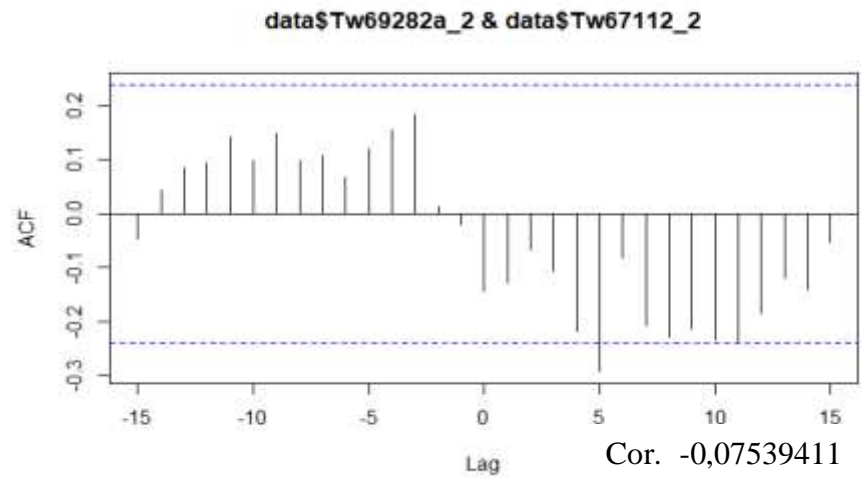
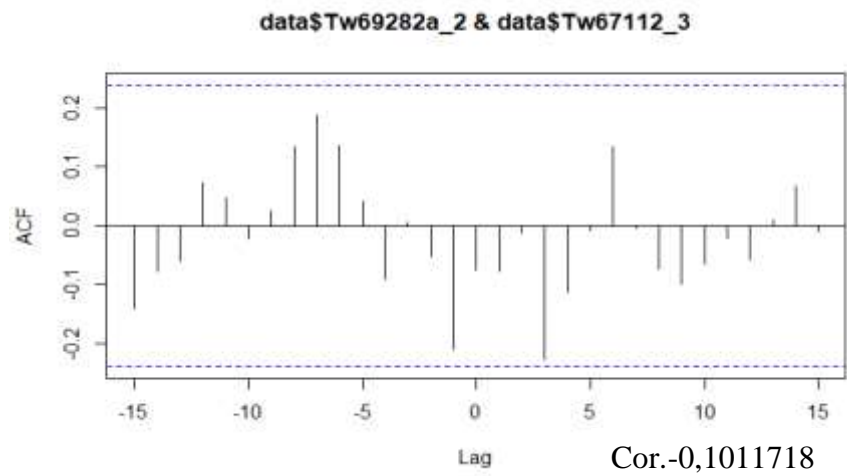


Fig. 45. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-2 et Tw67112-3 ; Tw69282a-2 et Tw67112-2 ; Tw69282a-2 et Tw69249-1 ; Tw69282a-2 et Tw69249-2.

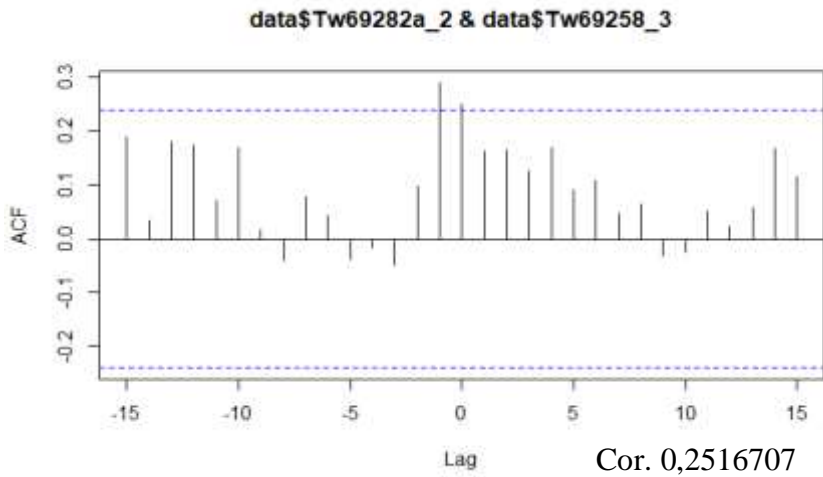
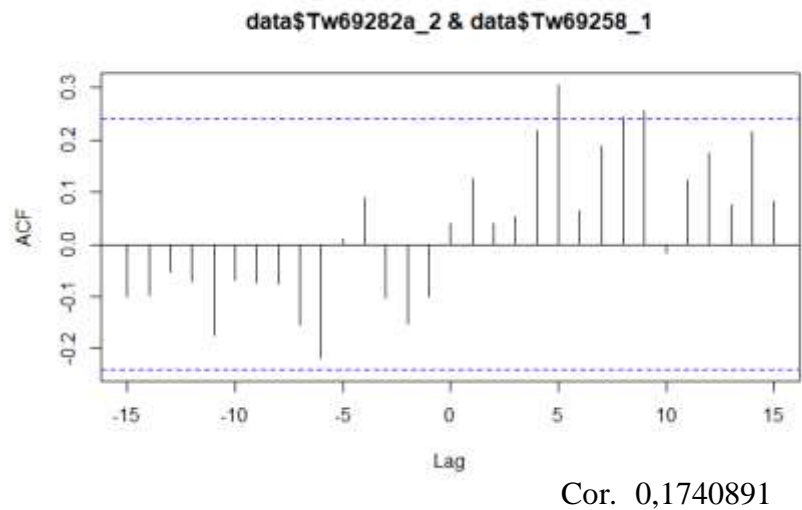
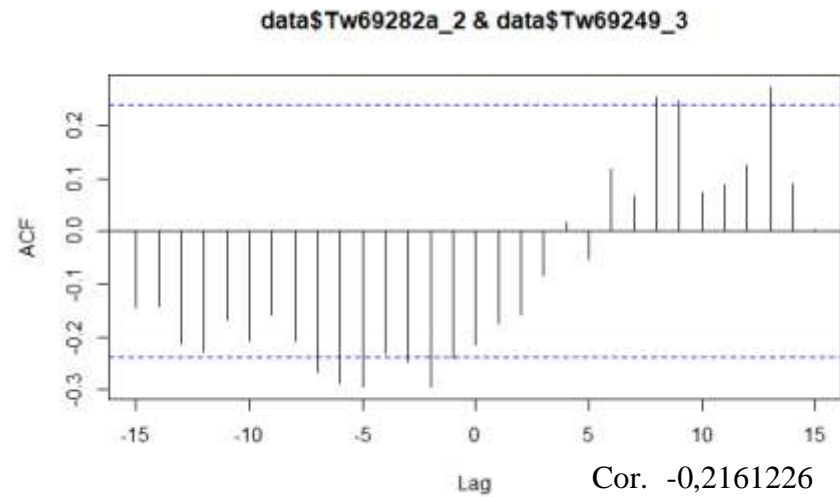
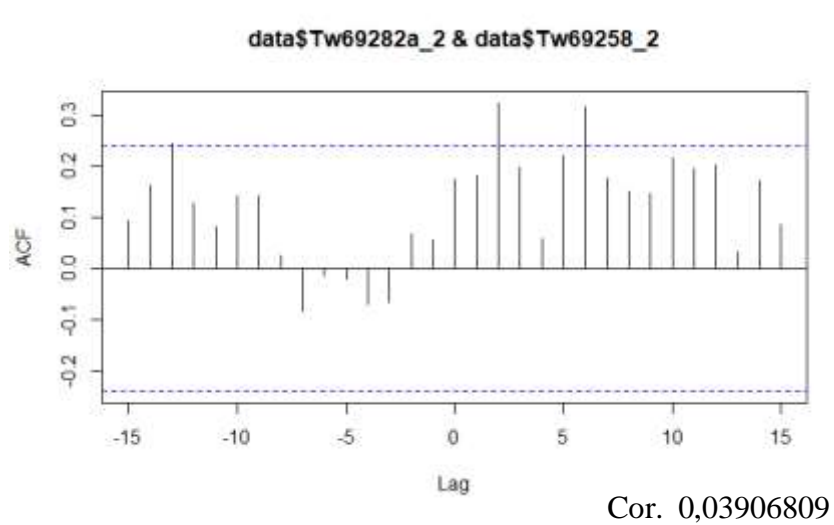


Fig. 46. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-2 et Tw69258-2 ; Tw69282a-2 et Tw69249-3 ; Tw69282a-2 et Tw69258-1 ; Tw69282a-2 et Tw69258-3.

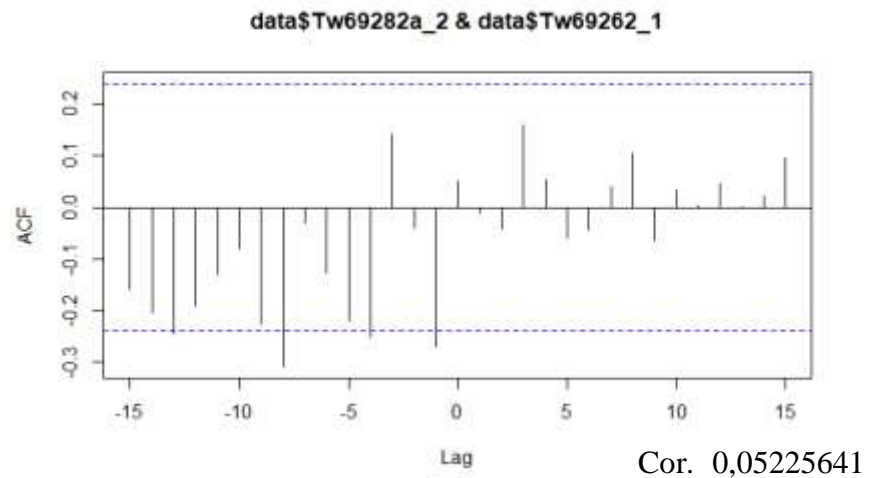
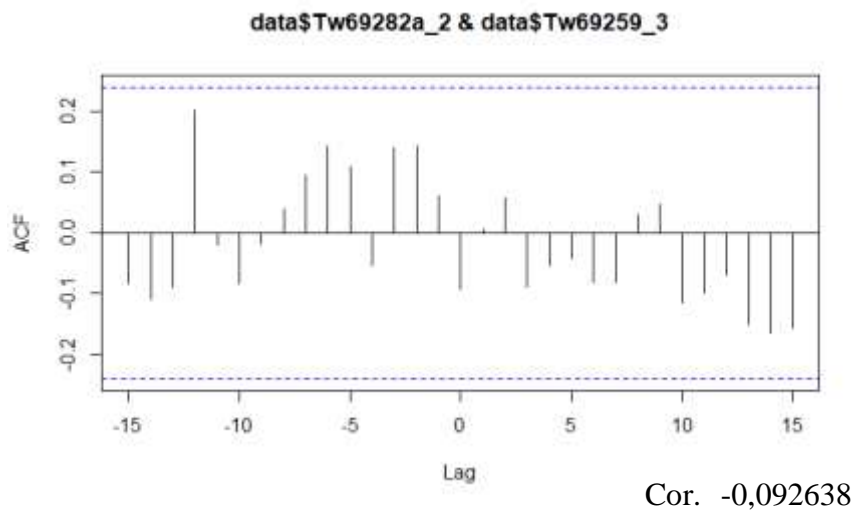
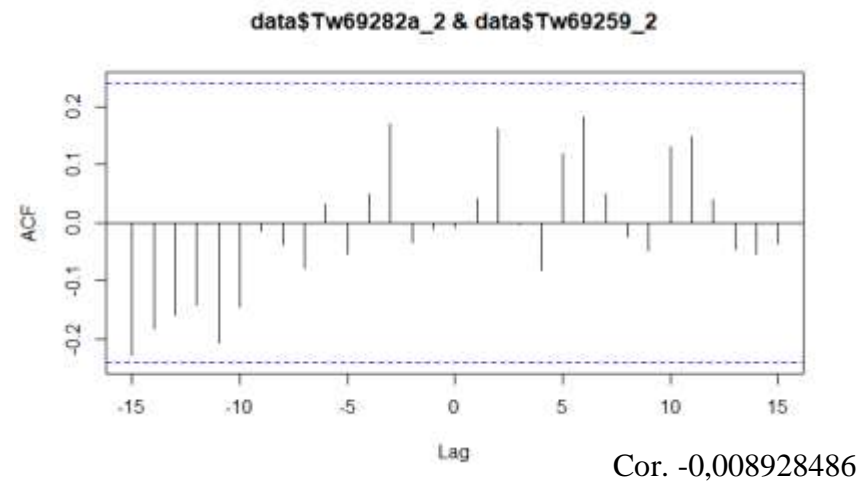
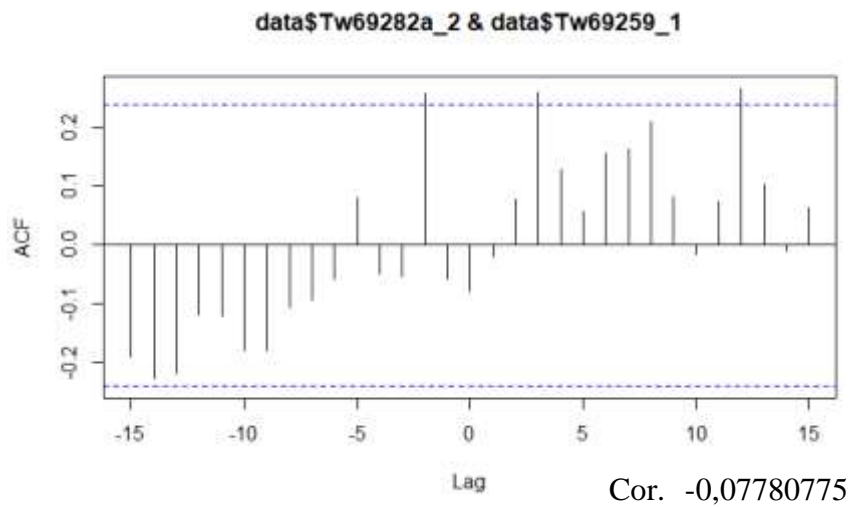


Fig. 47. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-2 et Tw69259-1 ; Tw69282a-2 et Tw69259-2 ; Tw69282a-2 et Tw69259-3 ; Tw69282a-2 et Tw69262-1.

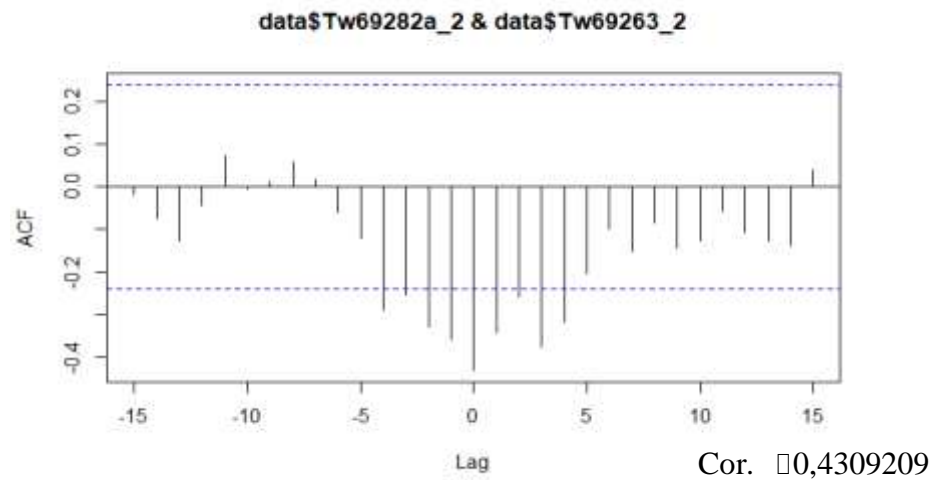
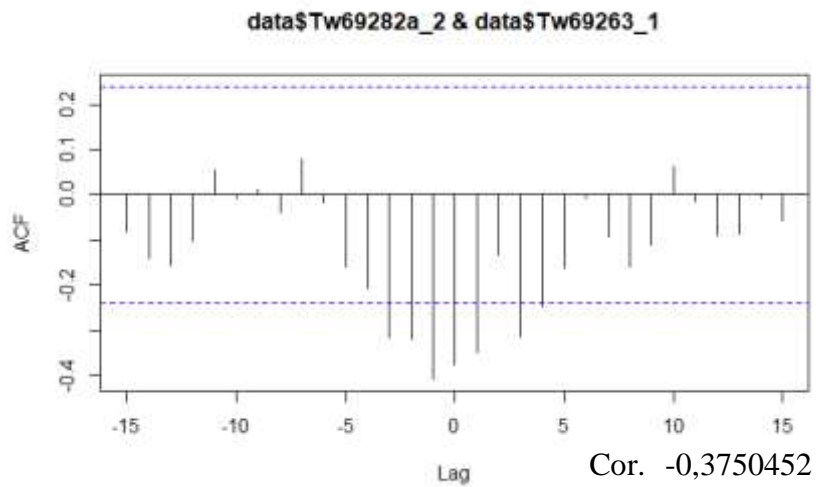
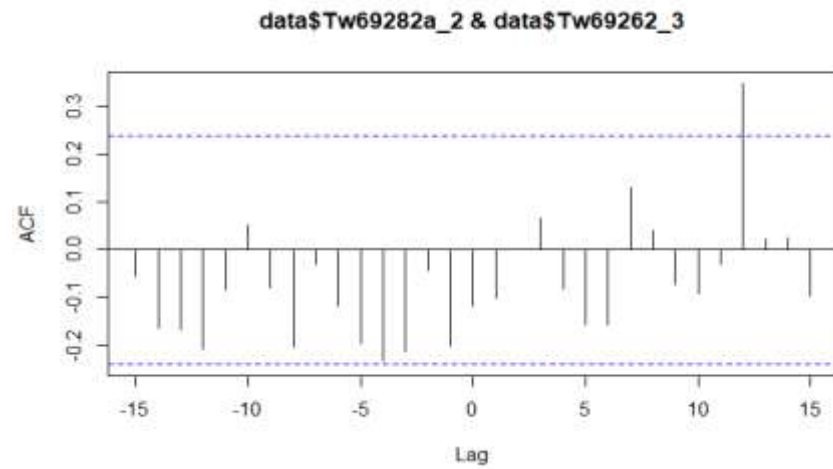
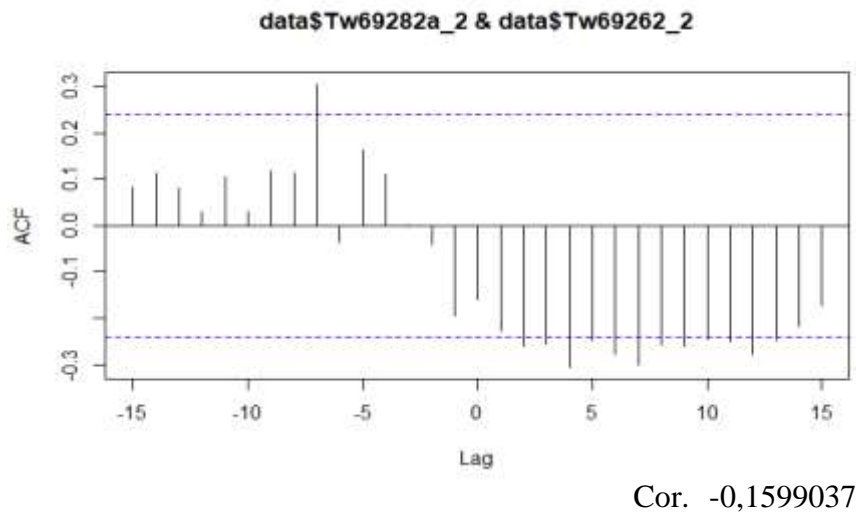


Fig. 48. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-2 et Tw69262-2 ; Tw69282a-2 et Tw69262-3 ; Tw69282a-2 et Tw69263-1 ; Tw69282a-2 et Tw69263-2.

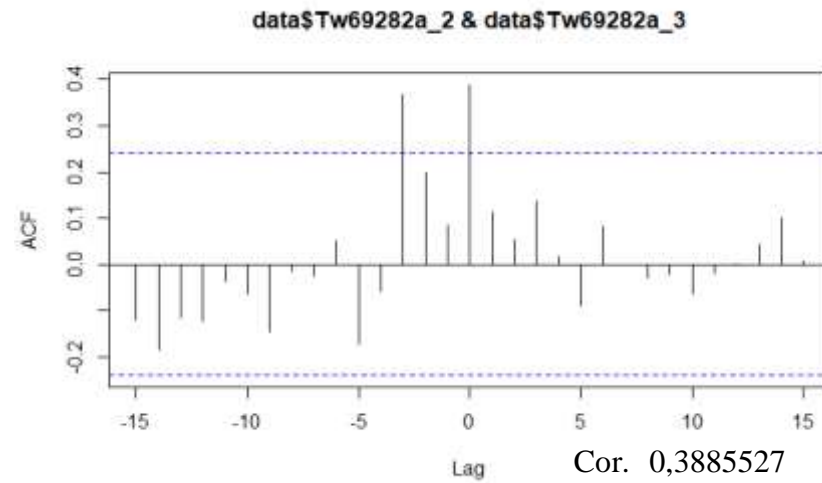
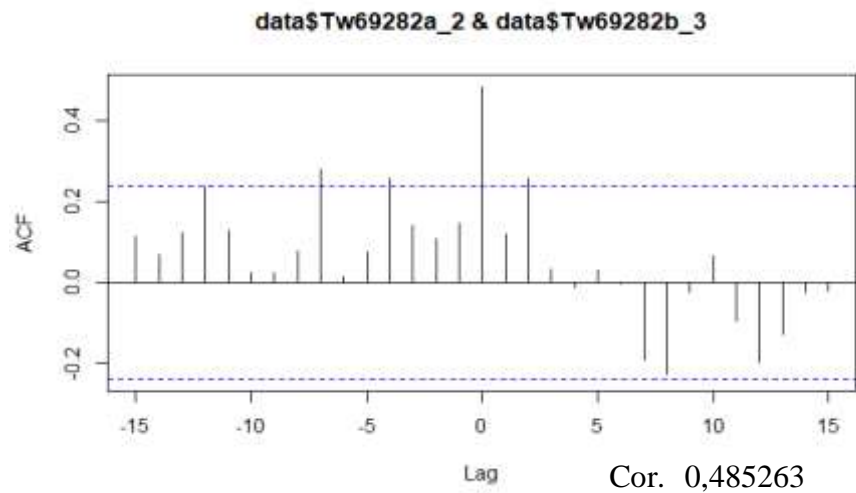
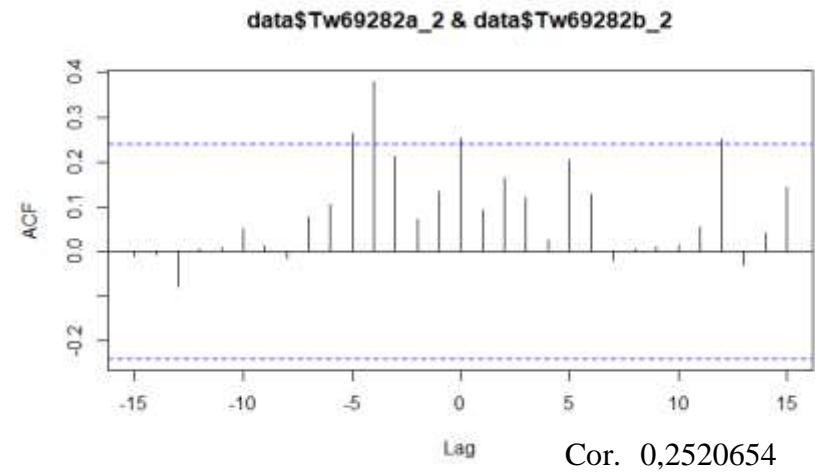
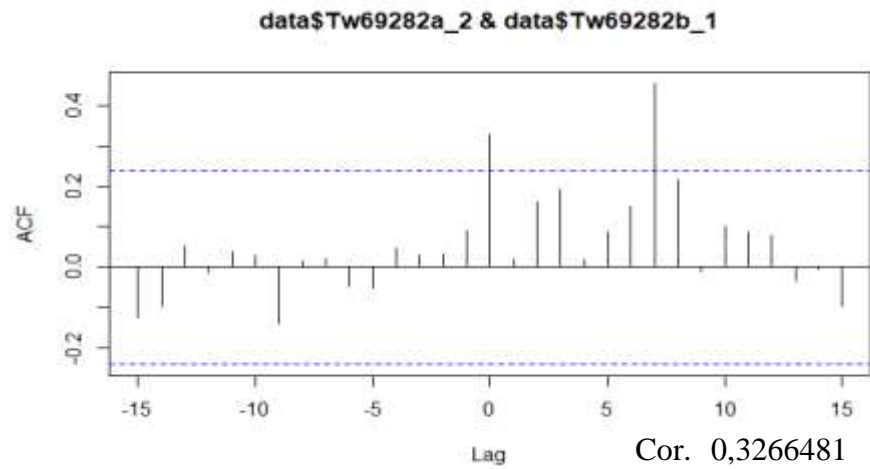


Fig. 49. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-2 et Tw69282b-1 ; Tw69282a-2 et Tw69282b-2 ; Tw69282a-2 et Tw69282b-3 ; Tw69282a-2 et Tw69282a-3.

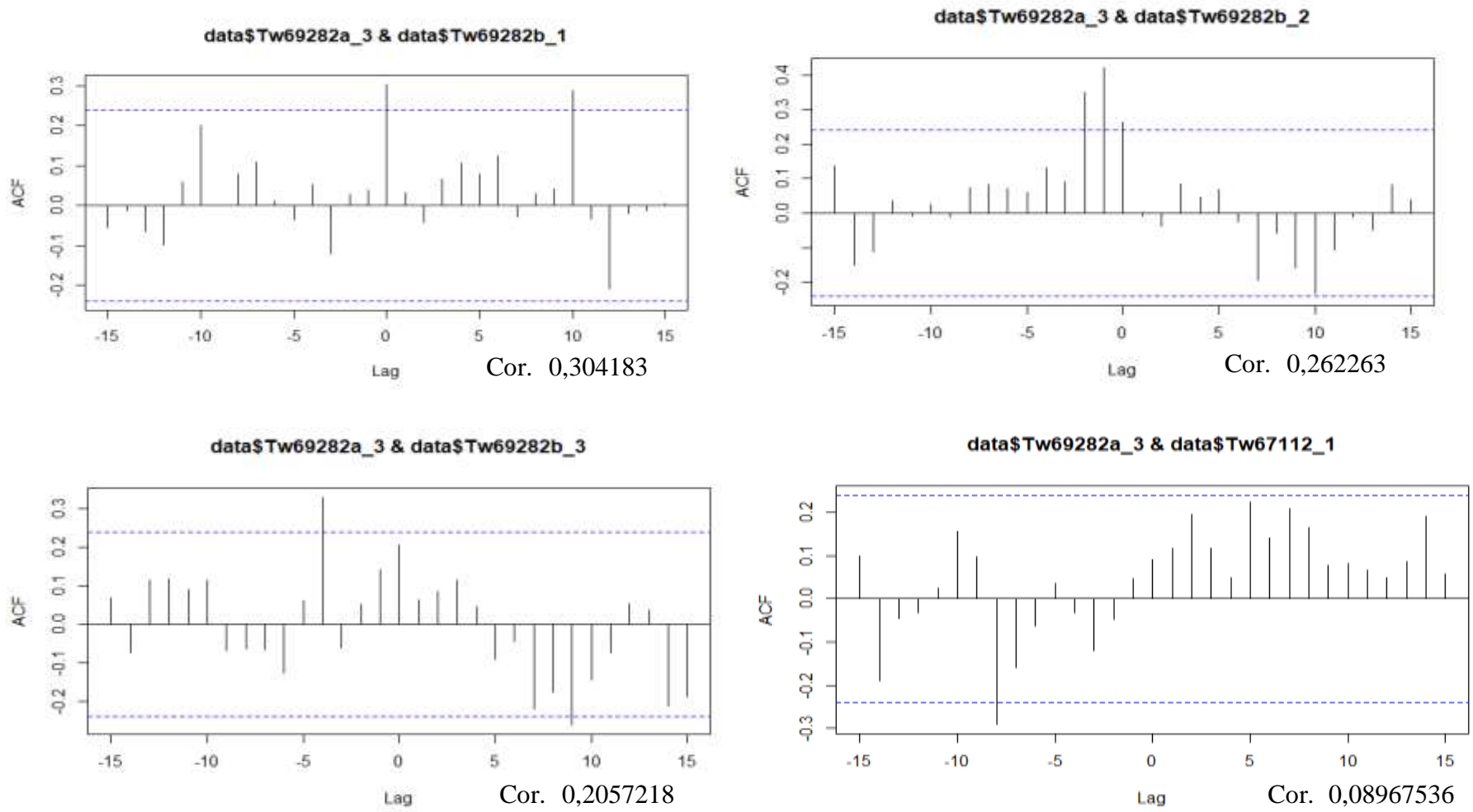


Fig. 50. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-3 et Tw69282b-1 ; Tw69282a-3 et Tw69282b-2 ; Tw69282a-2 et Tw69282b-3 ; Tw69282a-3 et Tw67112-1.

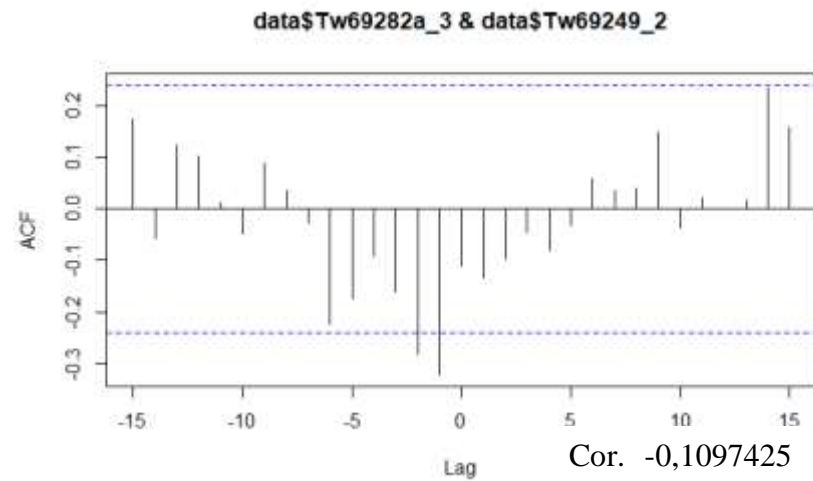
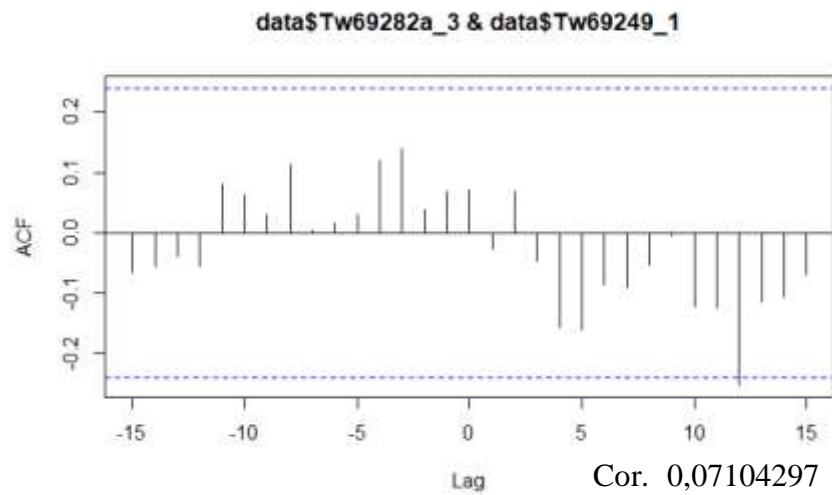
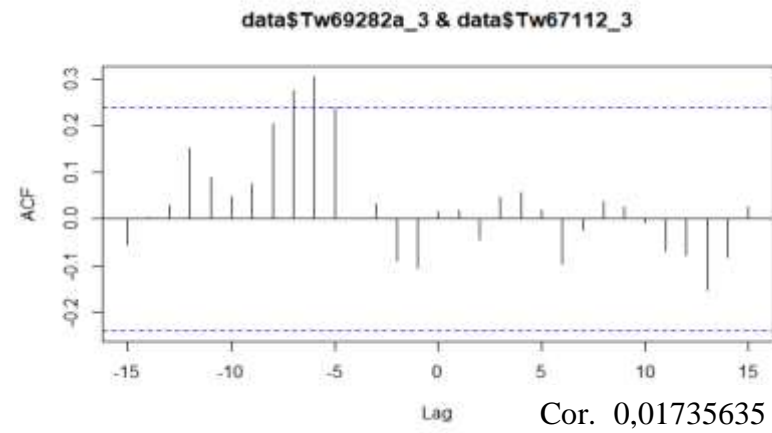
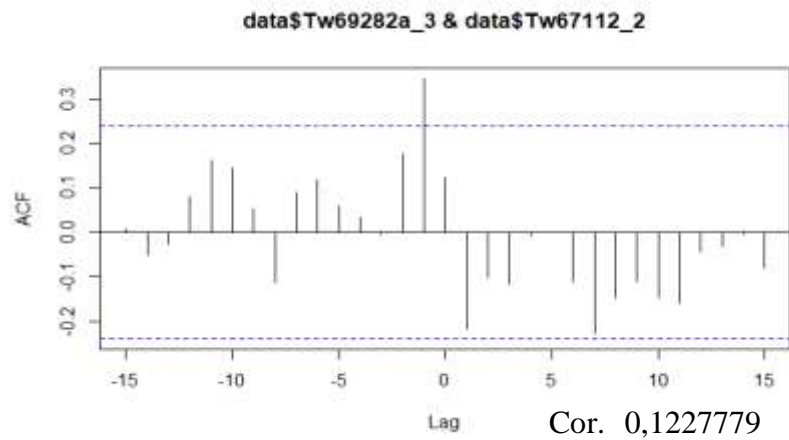


Fig. 51. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-3 et Tw67112-2 ; Tw69282a-3 et Tw67112-2 ; Tw69282a-2 et Tw69249-1 ; Tw69282a-3 et Tw69249-2.

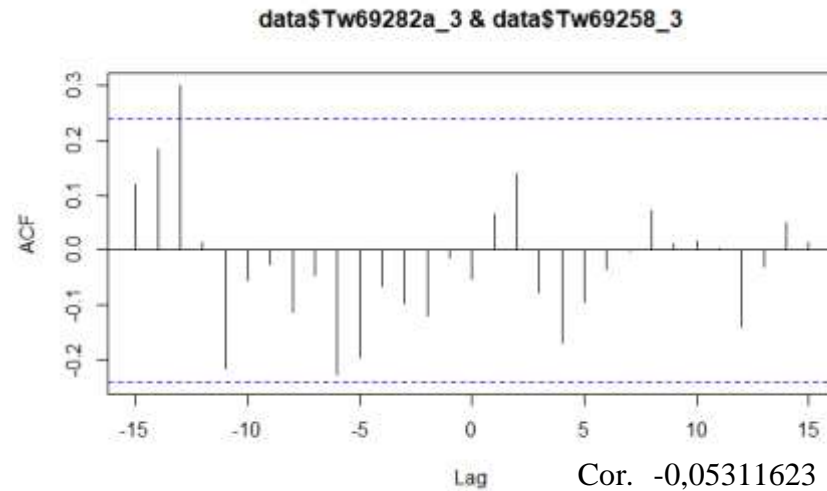
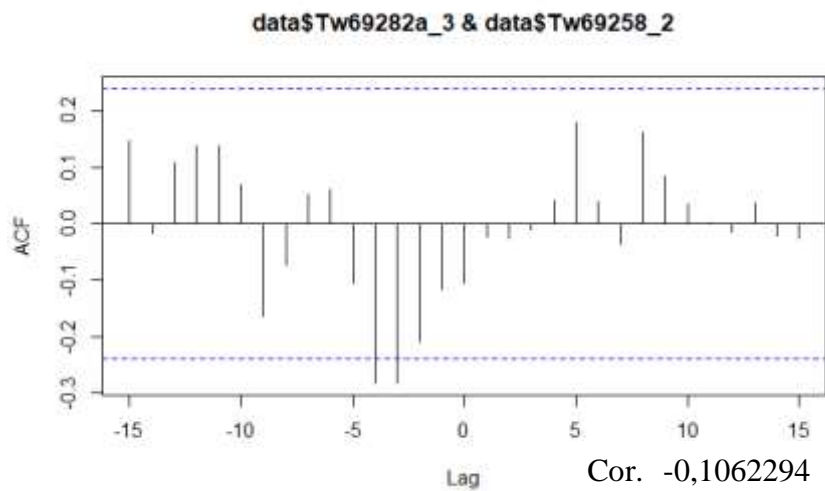
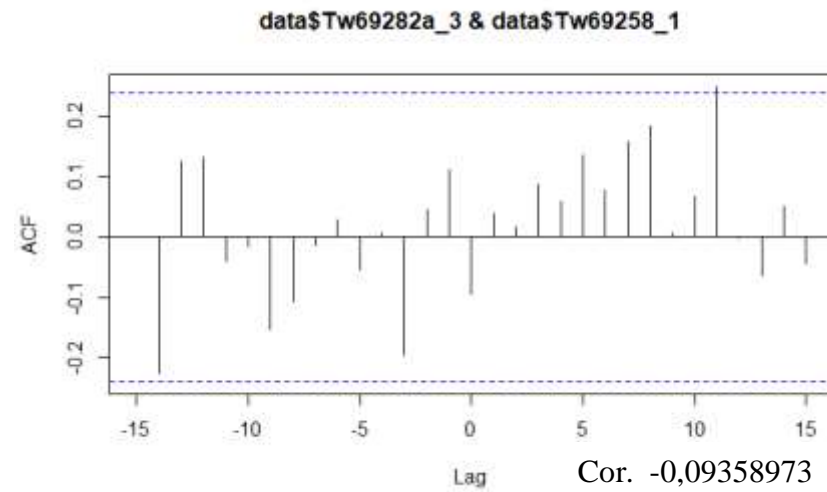
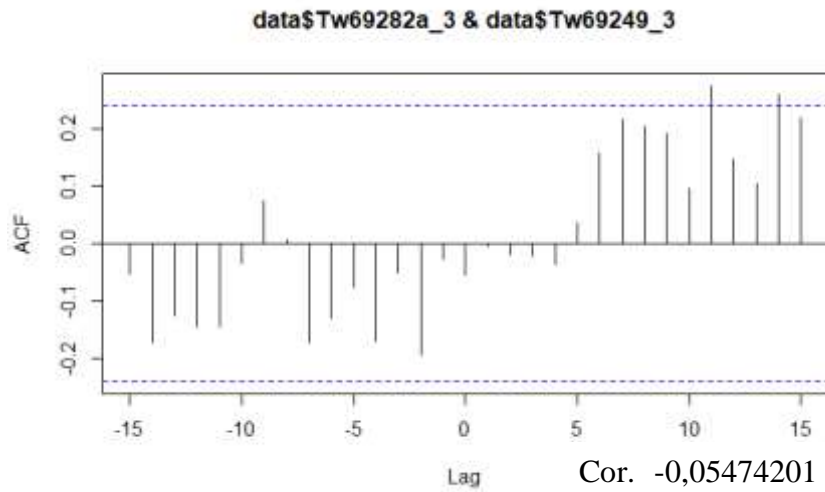


Fig. 52. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-3 et Tw69249-3 ; Tw69282a-3 et Tw69258-1 ; Tw69282a-2 et Tw69258-2 ; Tw69282a-3 et Tw69258-3.

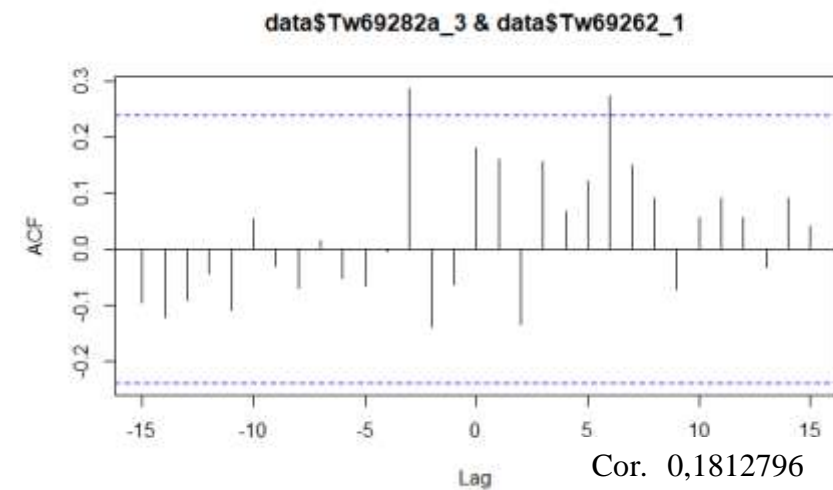
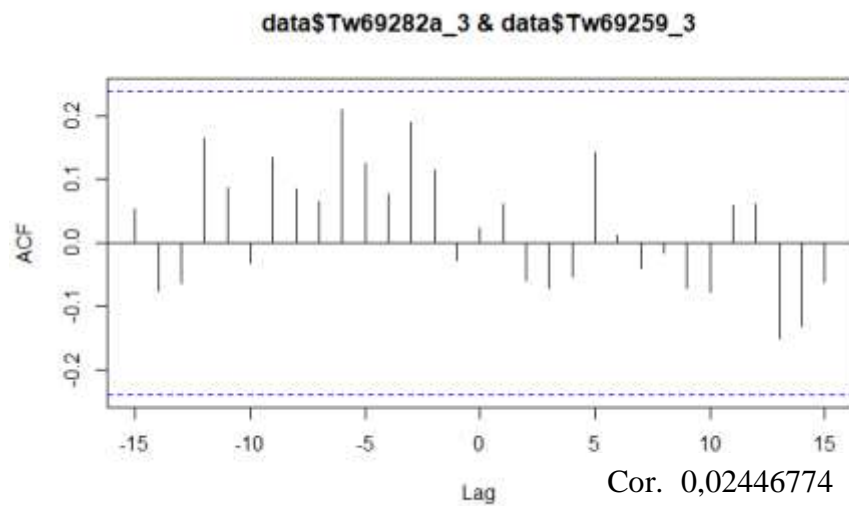
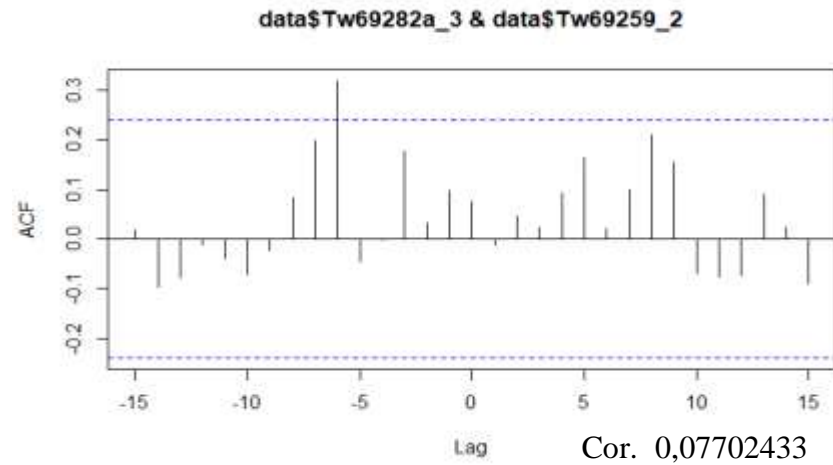
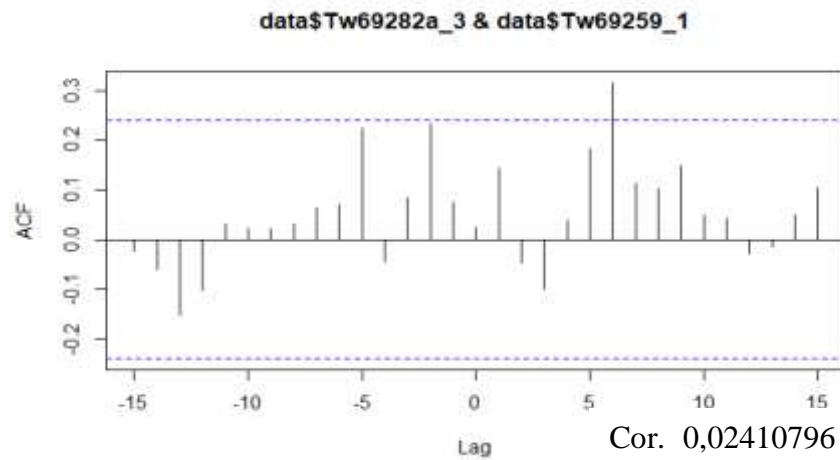


Fig. 53. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-3 et Tw69259-1 ; Tw69282a-3 et Tw69259-2 ; Tw69282a-2 et Tw69259-3 ; Tw69282a-3 et Tw69262-1.

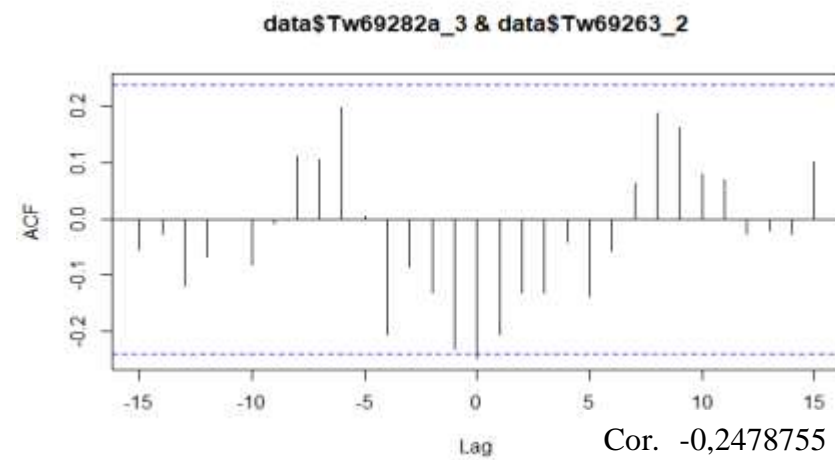
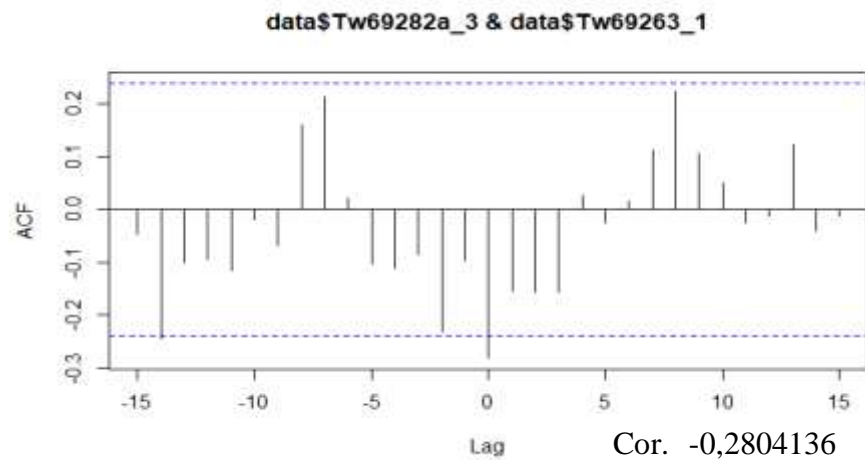
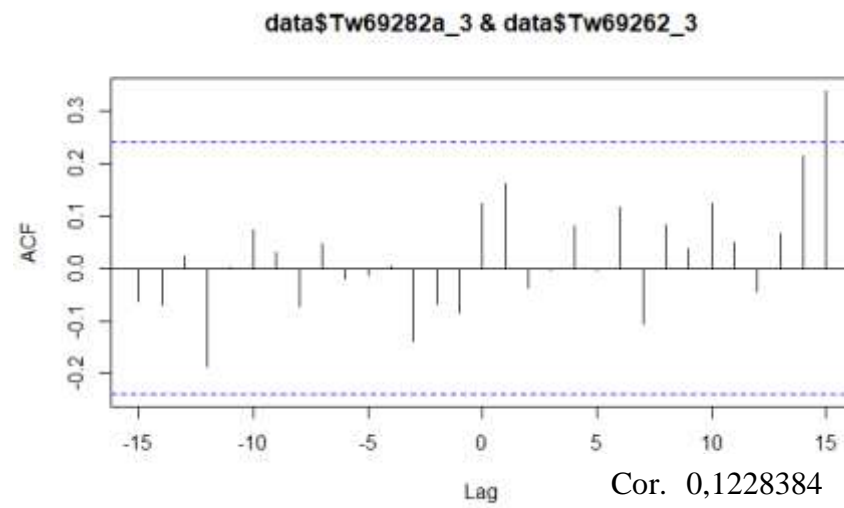
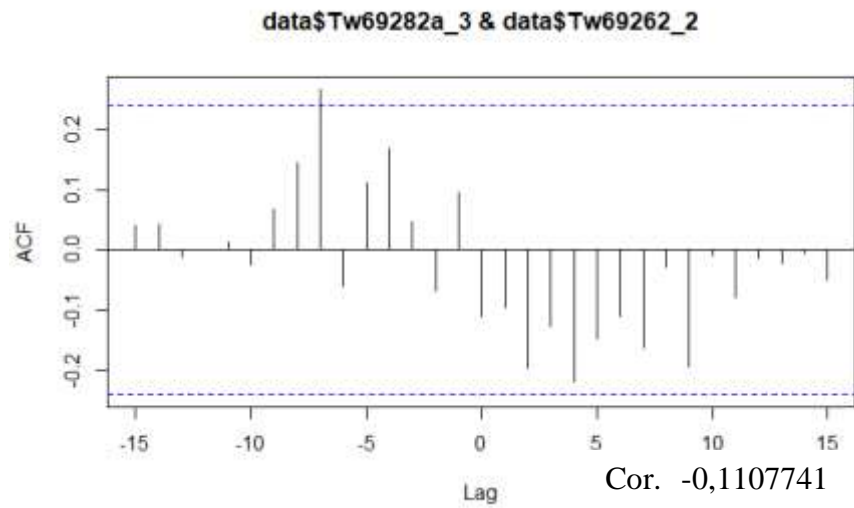


Fig. 54. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-3 et Tw69262-2 ; Tw69282a-3 et Tw69262-2 ; Tw69282a-2 et Tw69263-1 ; Tw69282a-3 et Tw69263-2.

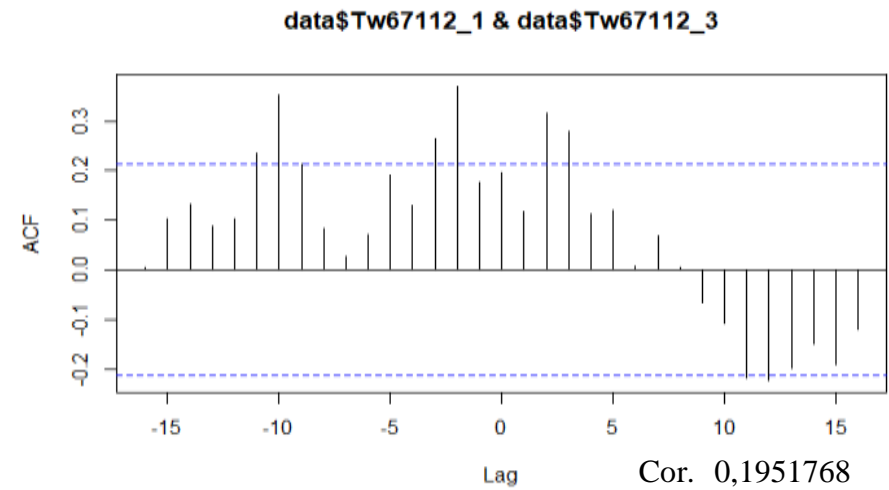
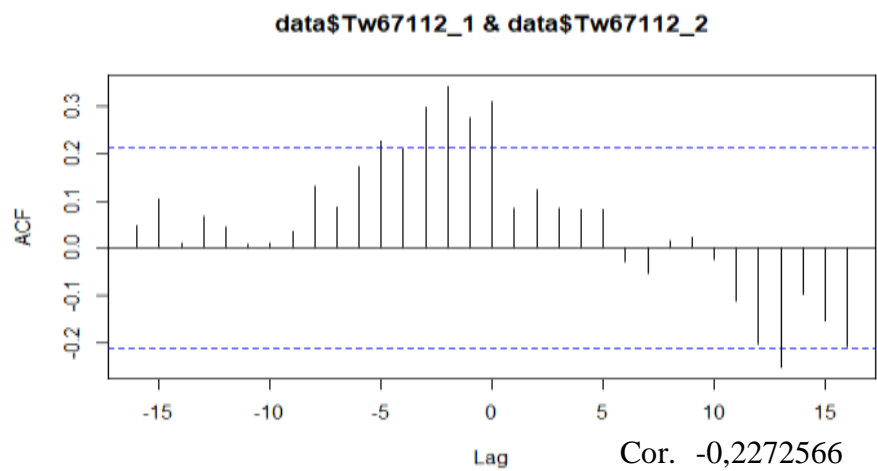
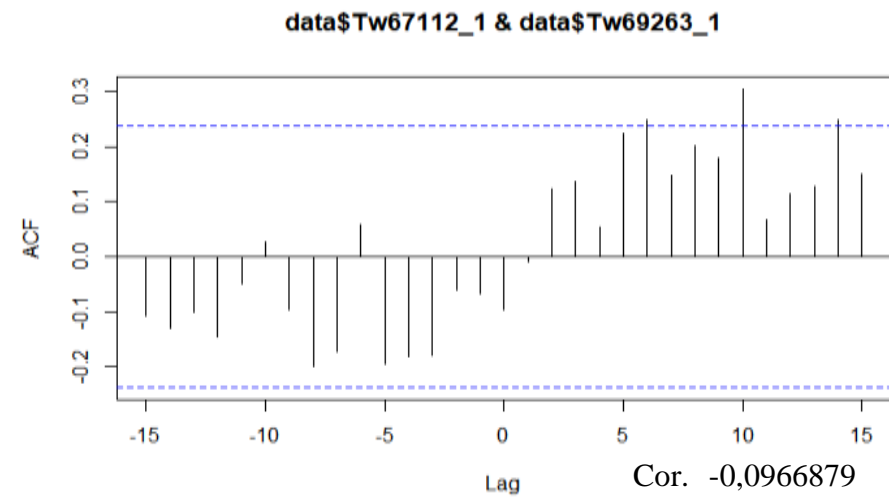
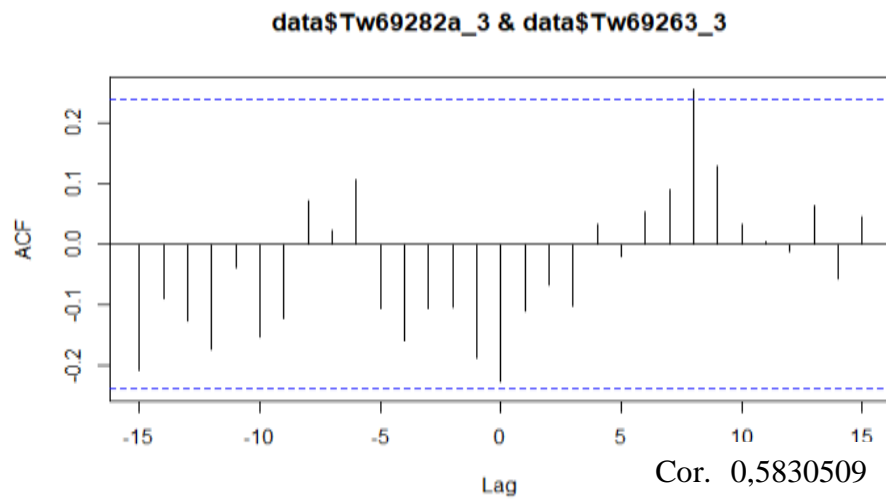


Fig. 55. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw69282a-3 et Tw69263-3 ; Tw67112-2 et Tw69263-1 ; Tw67112-1 et Tw67112-2 ; Tw67112-1 et Tw67112-3.

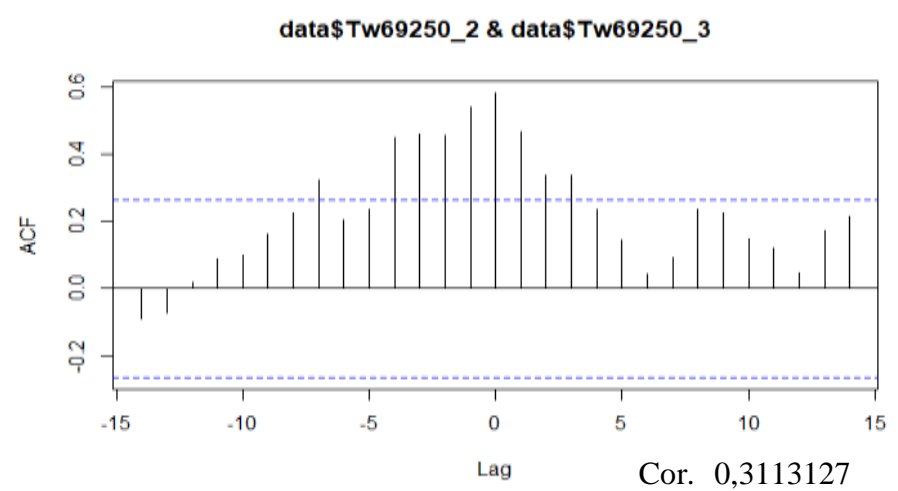
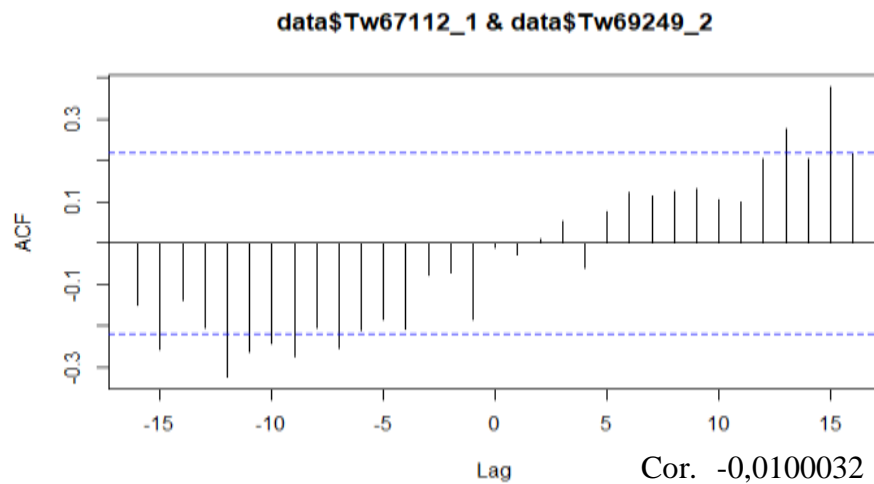
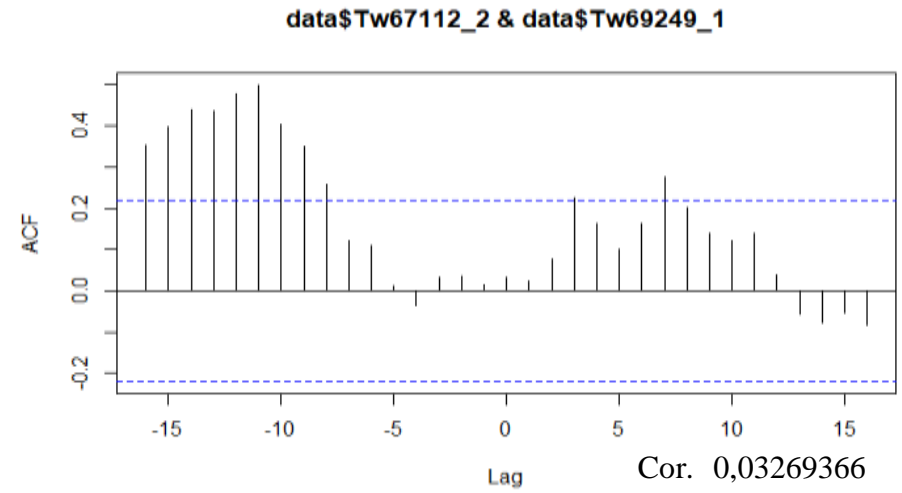
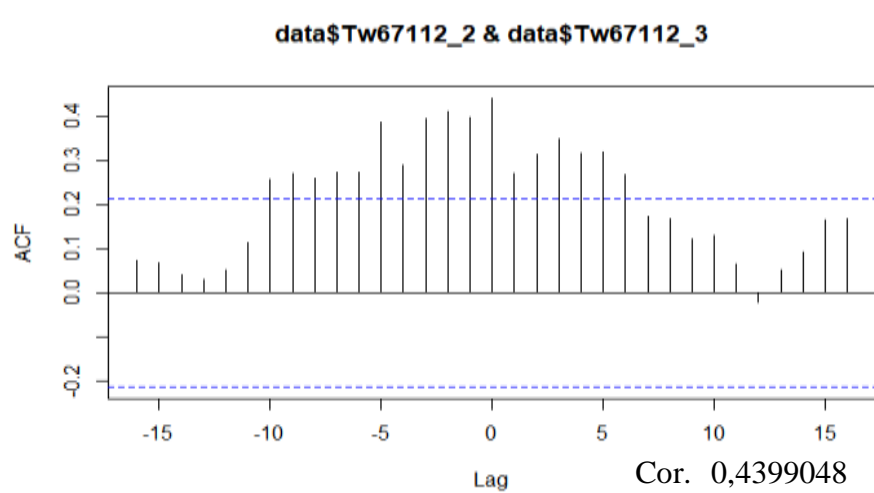


Fig. 56. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-2 et Tw67112-3 ; Tw67112-2 et Tw69249-1 ; Tw67112-1 et Tw69249-2 ; Tw69250-2 et Tw69250-3.

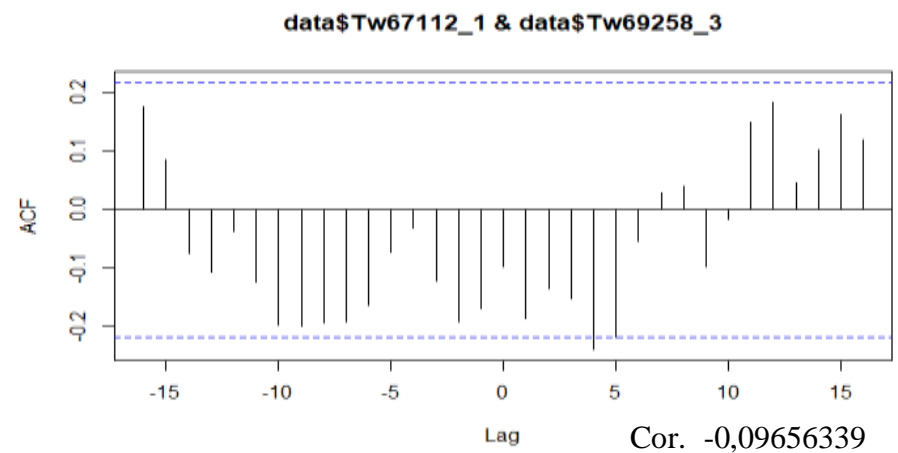
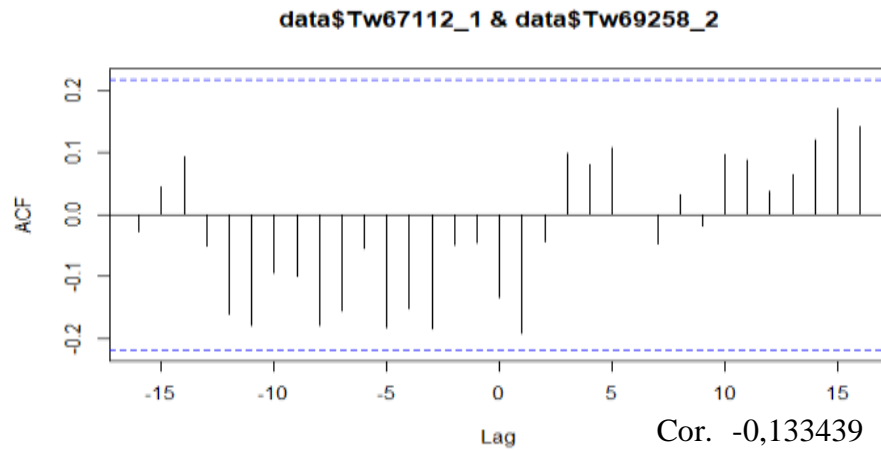
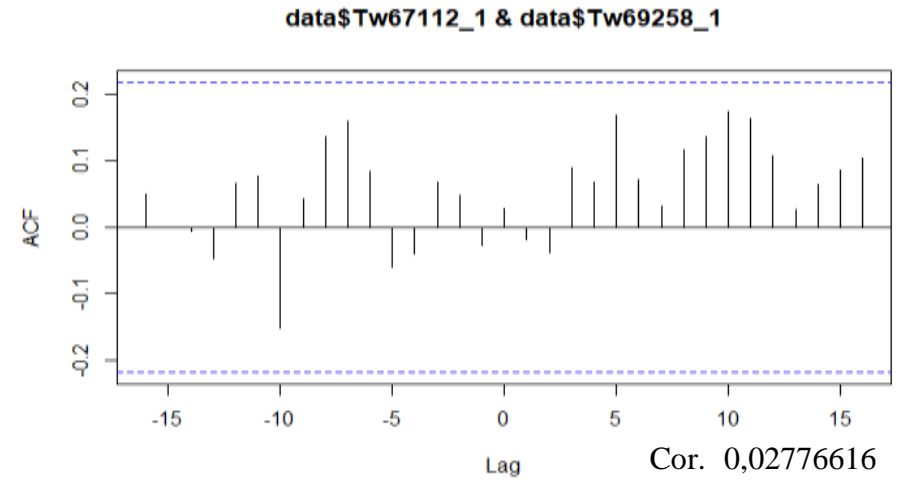
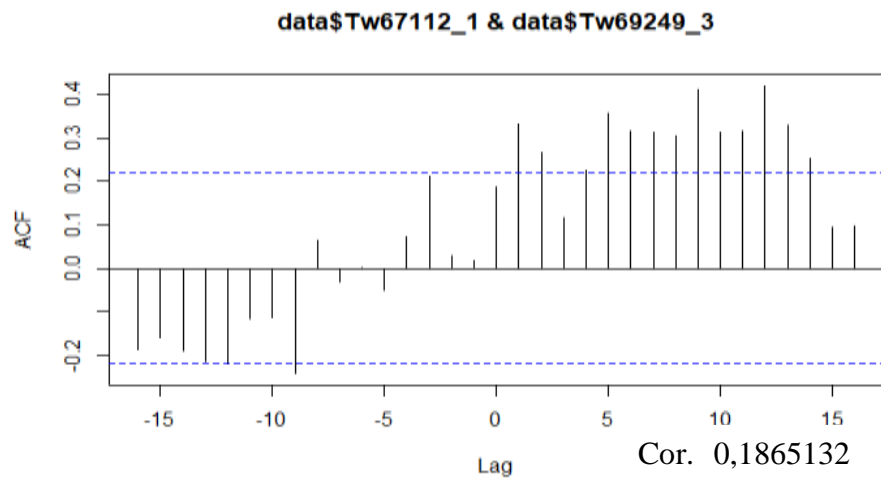


Fig. 57. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-1 et Tw69248-3 ; Tw67112-1 et Tw69258-1 ; Tw67112-1 et Tw69258-2 ; Tw67112-1 et Tw69258-3.

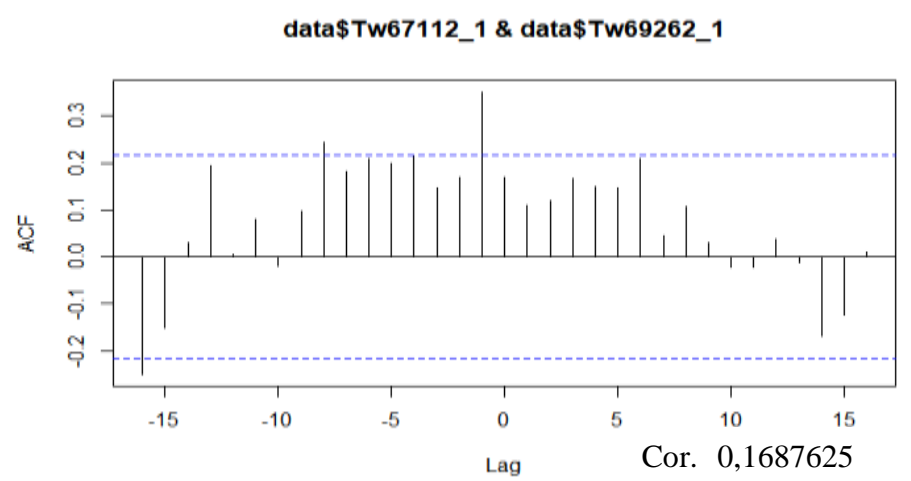
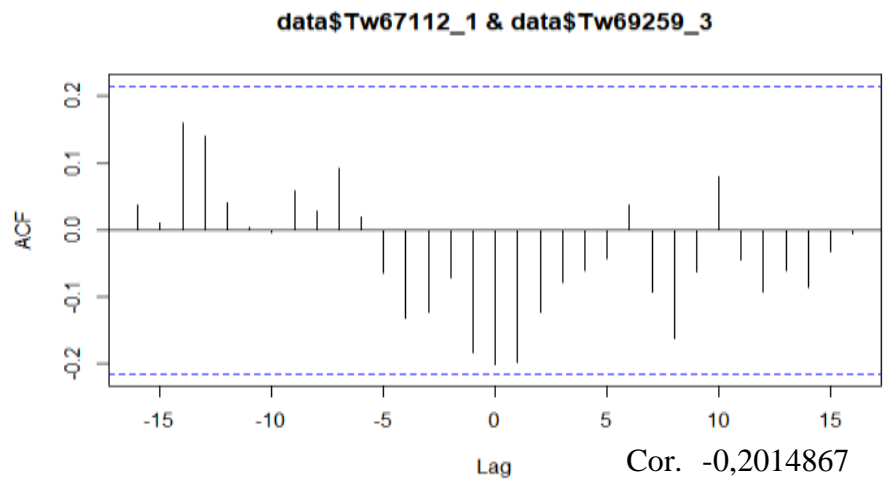
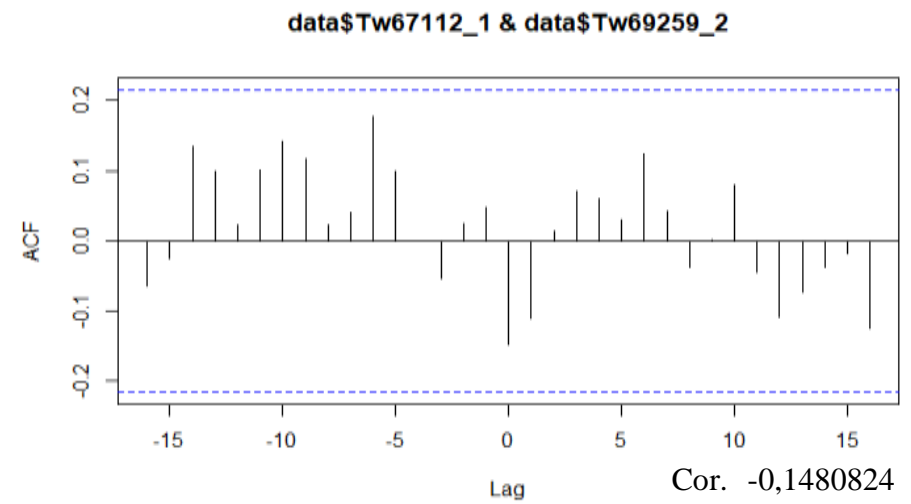
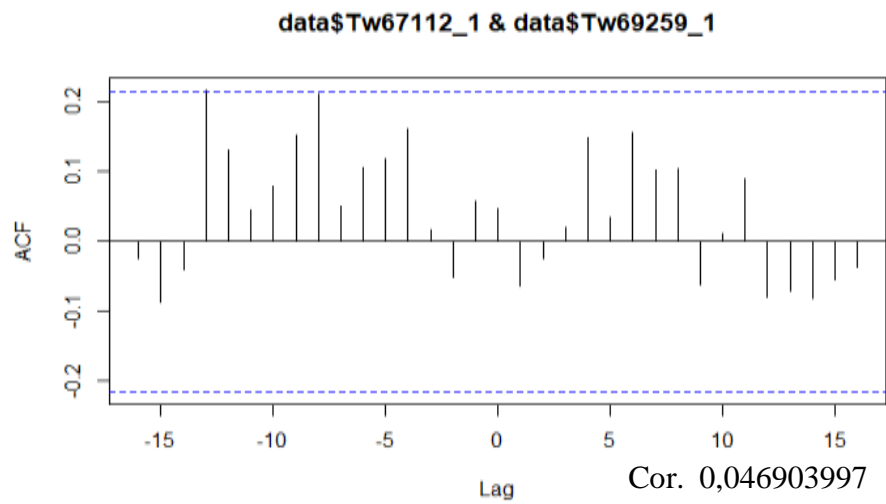


Fig. 58. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-1 et Tw69259-3 ; Tw67112-1 et Tw69259-2 ; Tw67112-1 et Tw69259-3 ; Tw67112-1 et Tw69262-1.

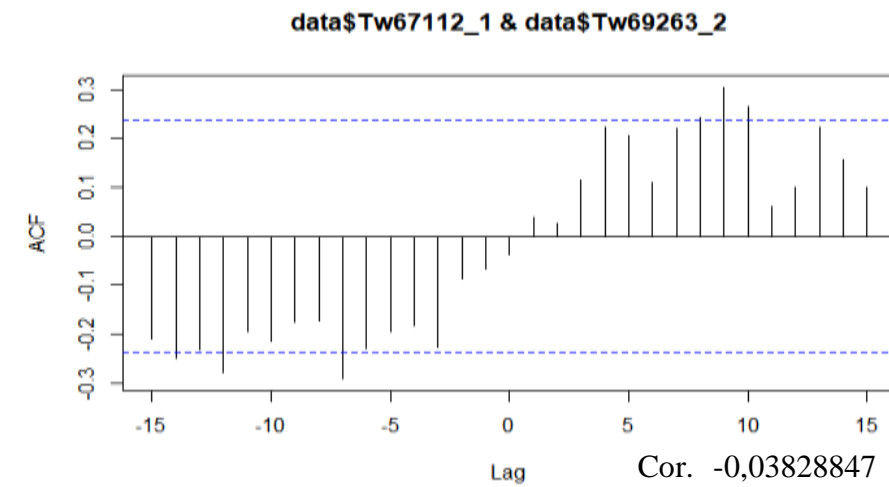
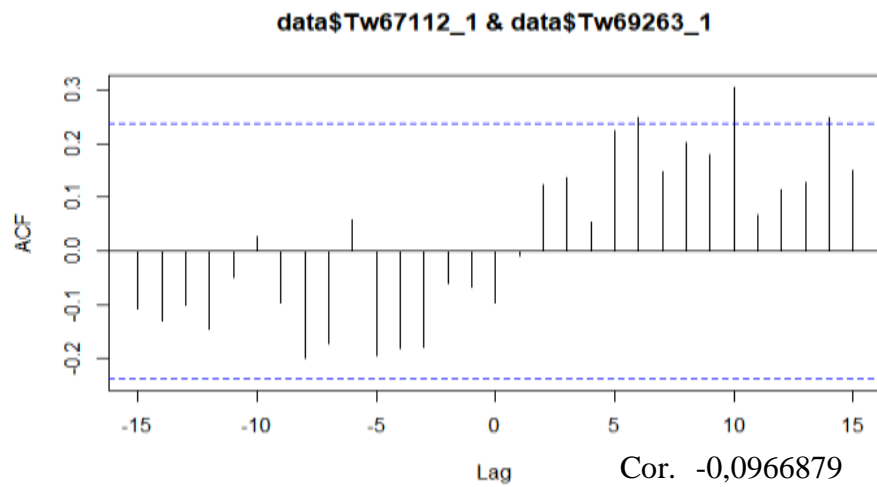
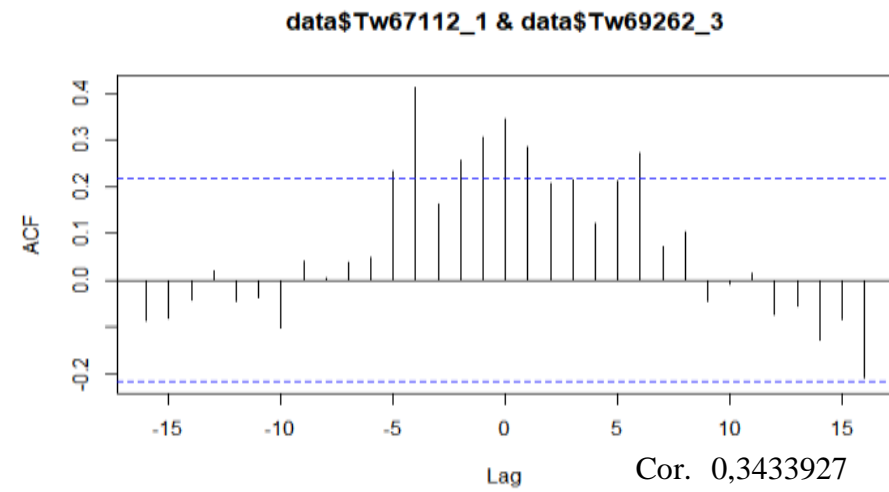
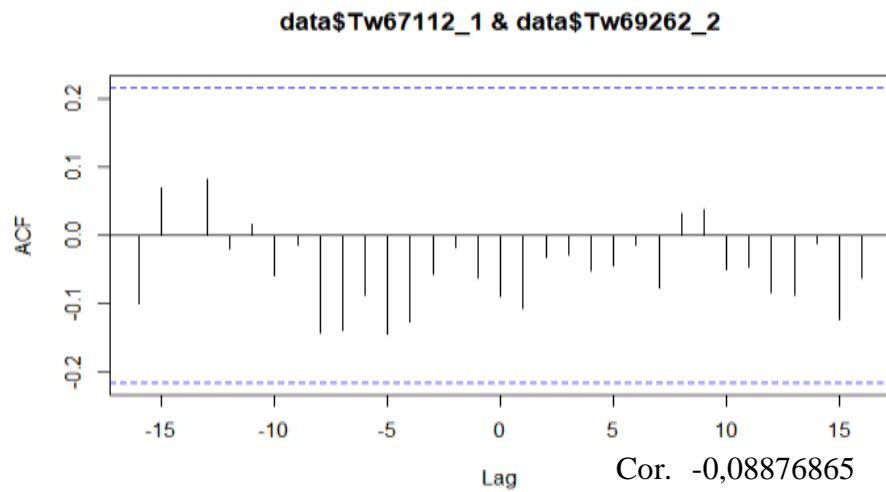


Fig. 59. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-1 et Tw69262-1 ; Tw67112-1 et Tw69262-2 ; Tw67112-1 et Tw69263-1 ; Tw67112-1 et Tw69263-2.

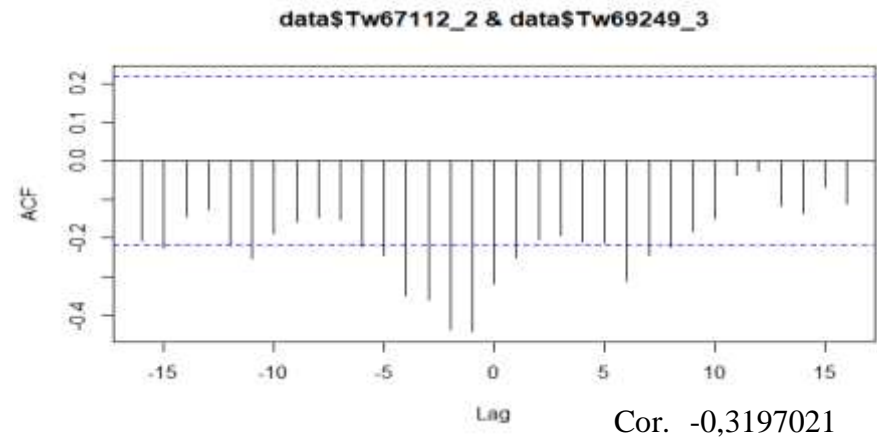
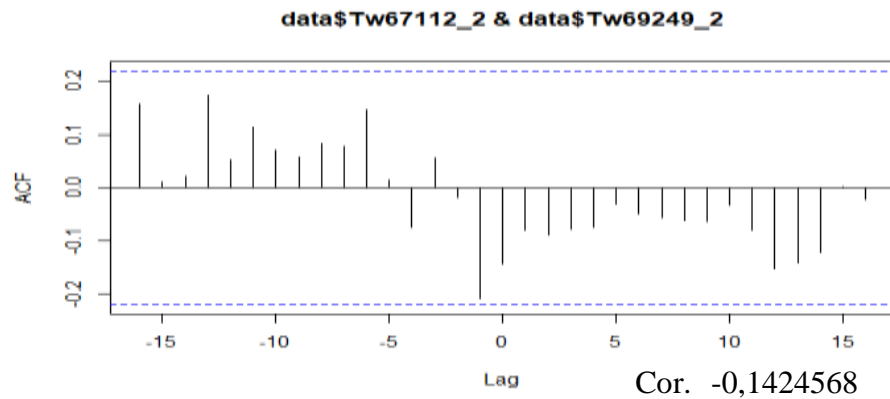
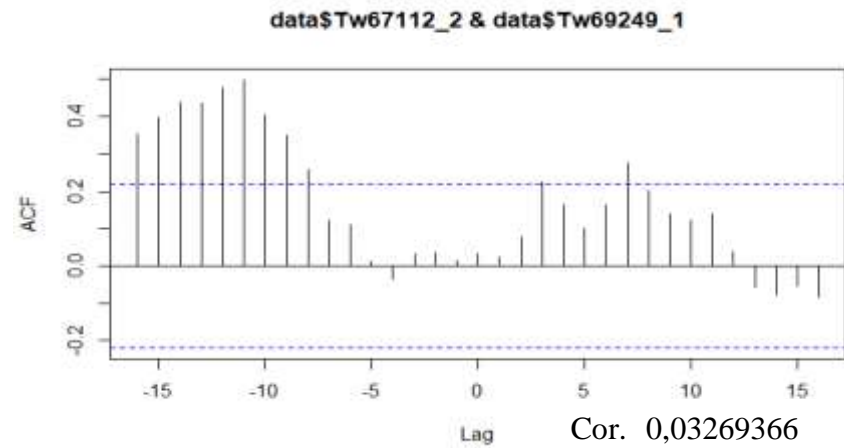
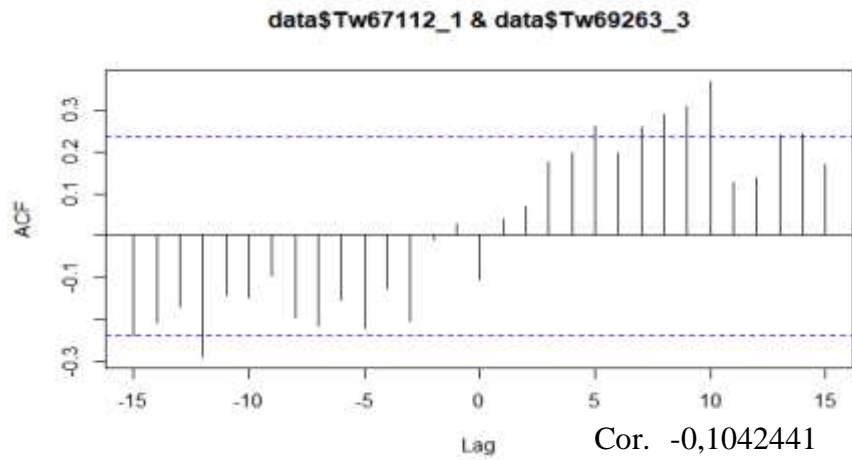


Fig. 60. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-1 et Tw69263-3 ; Tw67112-2 et Tw69249-1 ; Tw67112-2 et Tw69249-2 ; Tw67112-2 et Tw69249-3.

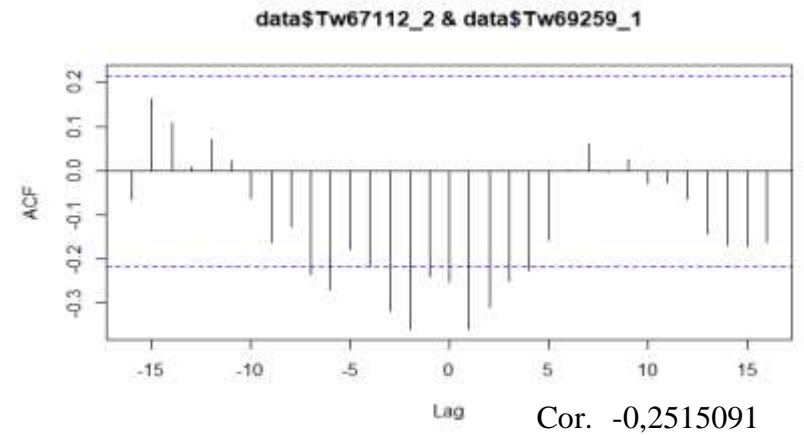
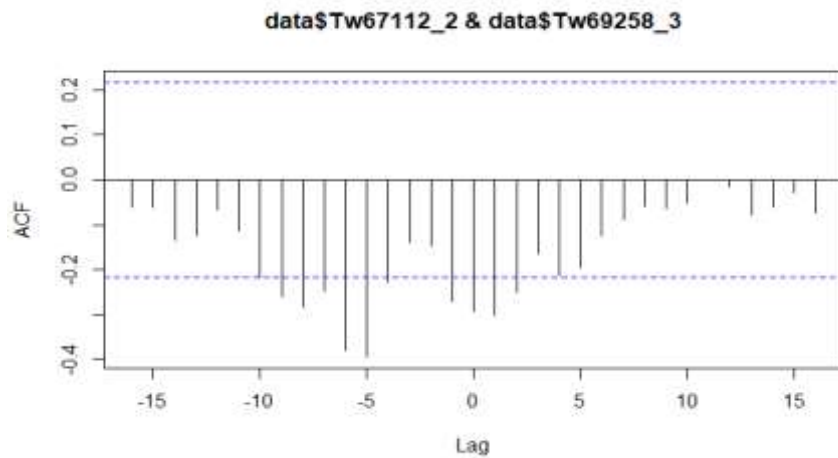
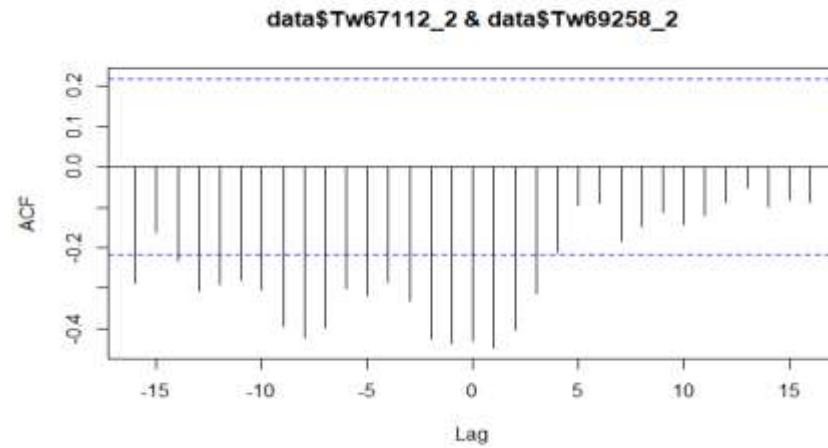
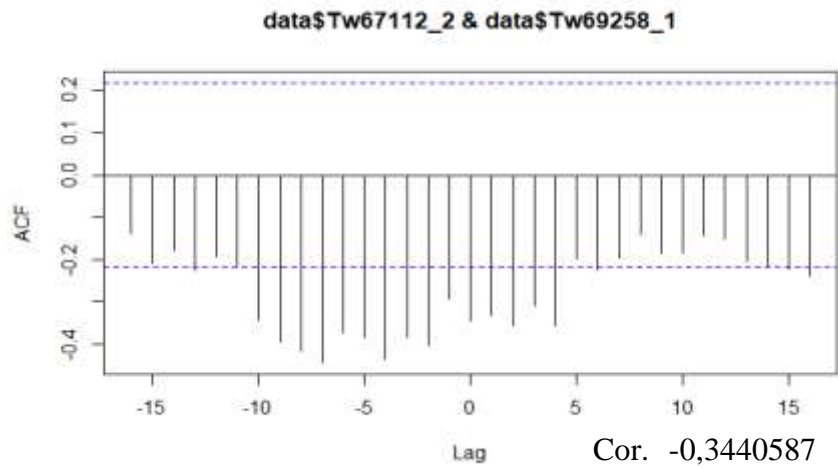


Fig. 61. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-2 et Tw69258-1 ; Tw67112-2 et Tw69258-2 ; Tw67112-2 et Tw69258-3 ; Tw67112-2 et Tw69259-1.

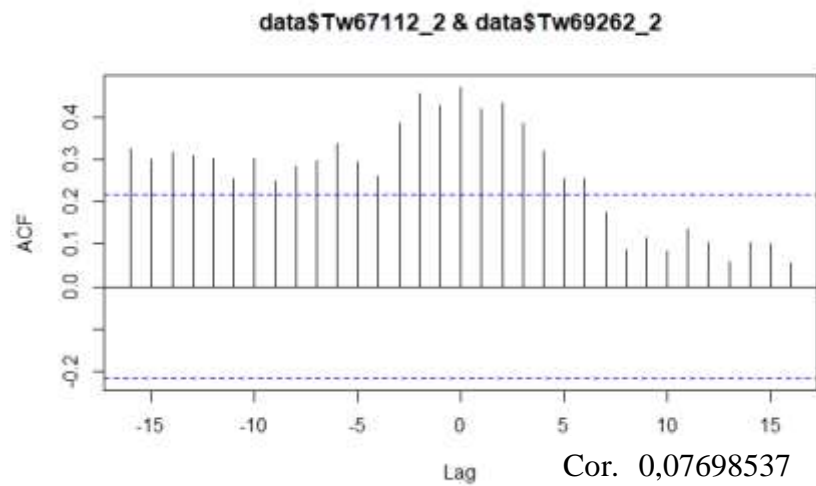
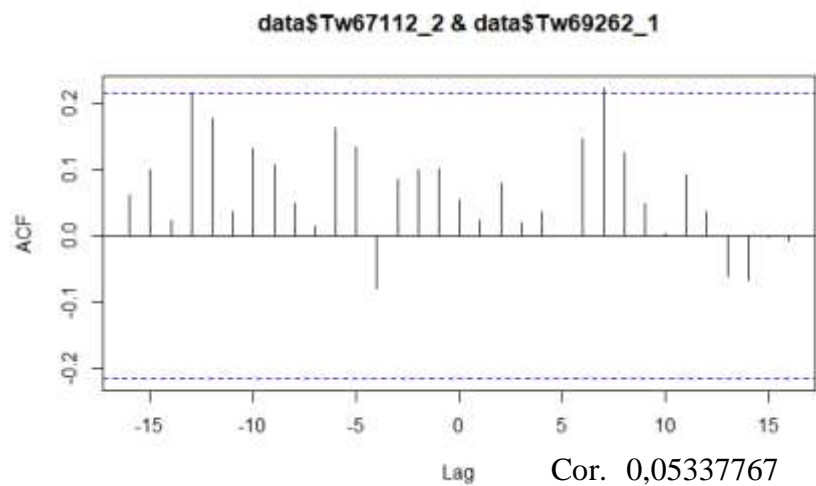
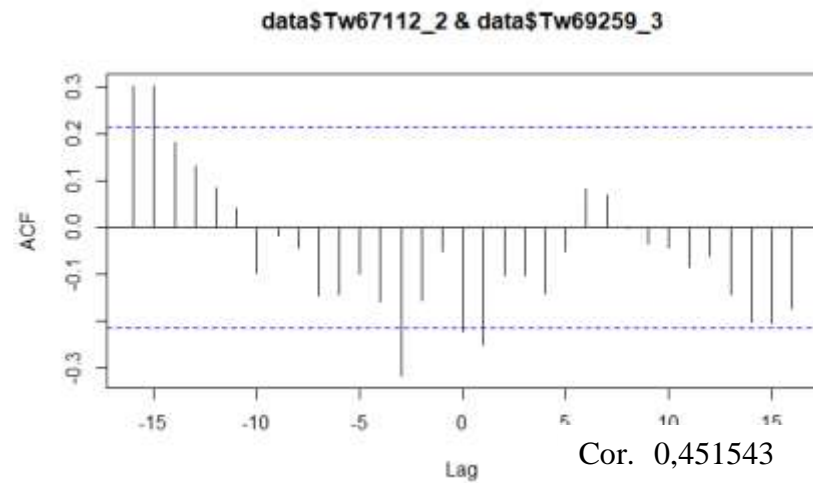
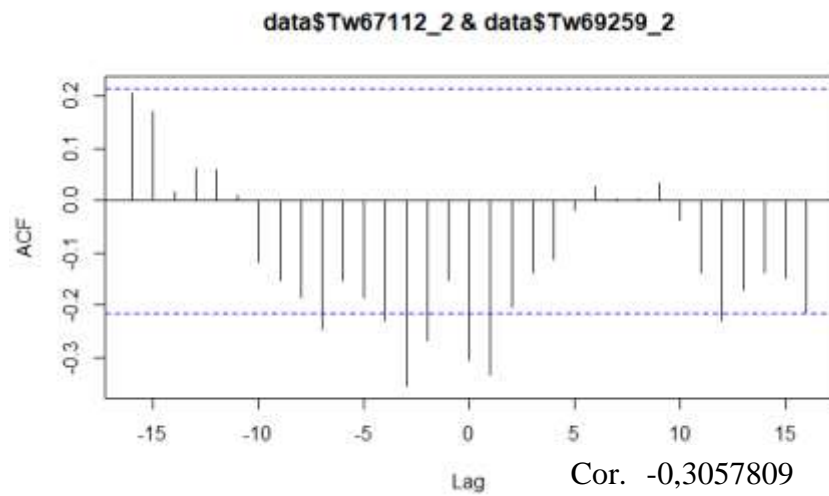


Fig. 62. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-2 et Tw69259-2 ; Tw67112-2 et Tw69259-3 ; Tw67112-2 et Tw69262-1 ; Tw67112-2 et Tw69262-2.

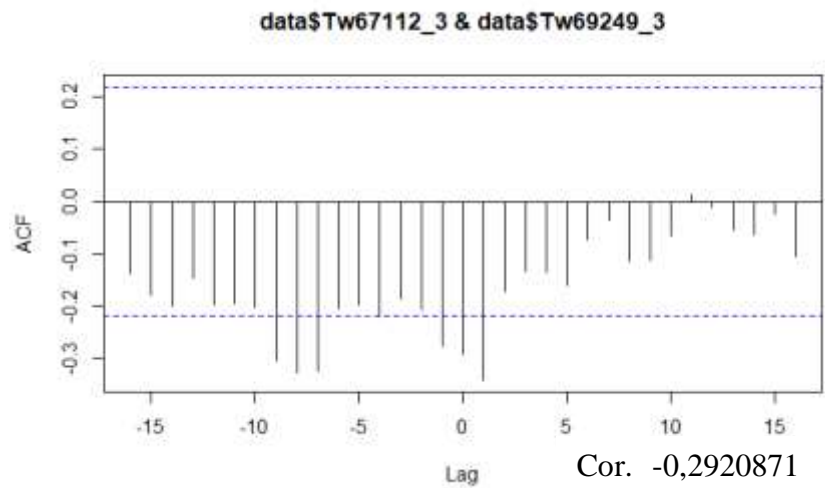
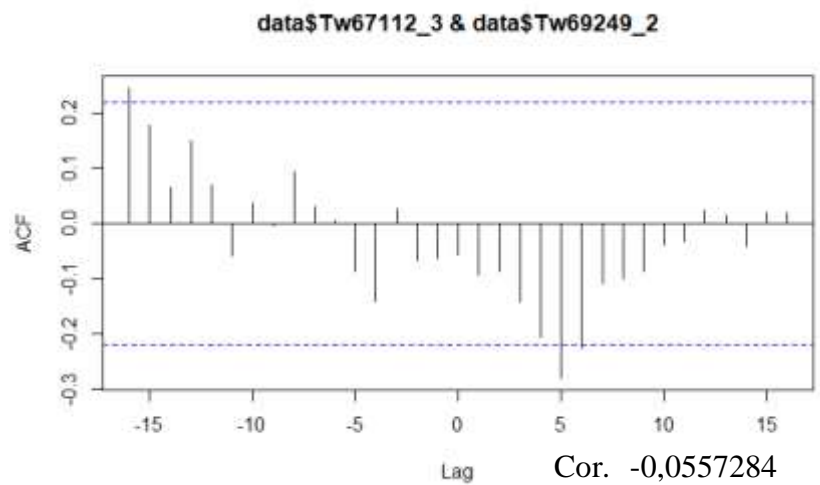
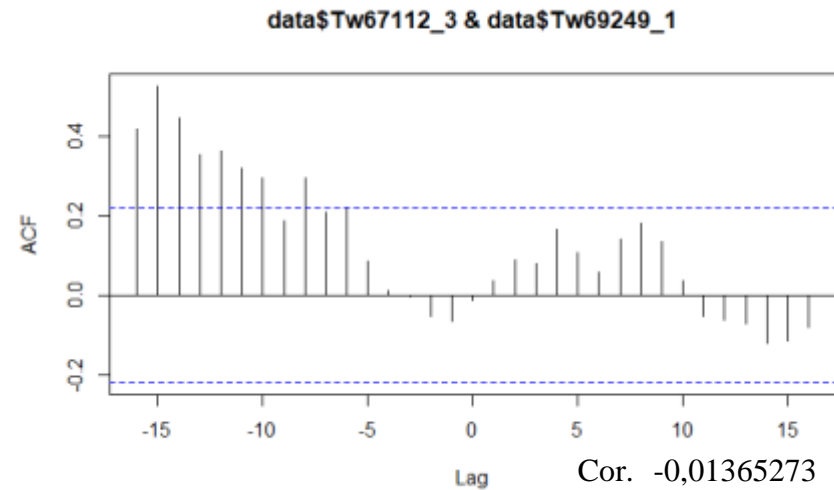
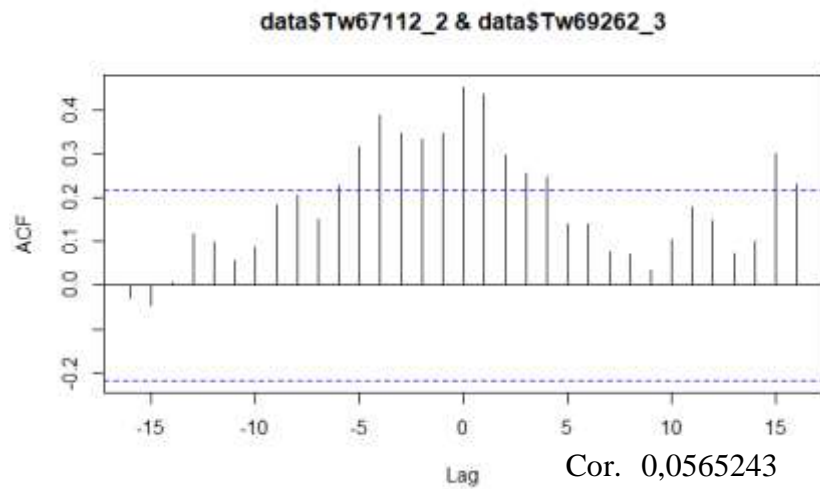


Fig. 63. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-2 et Tw69262-3 ; Tw67112-3 et Tw69249-1 ; Tw67112-3 et Tw69249-2 ; Tw67112-3 et Tw69249-3.

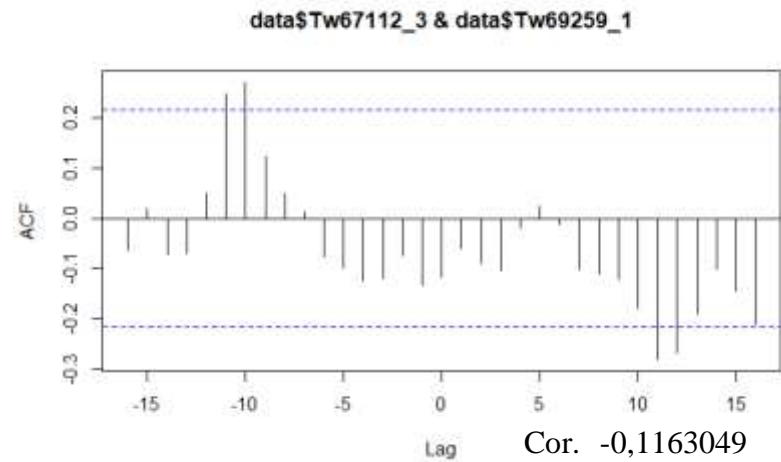
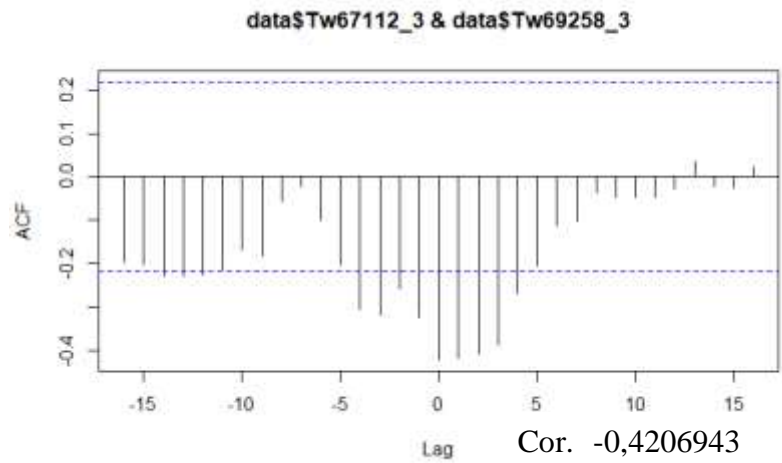
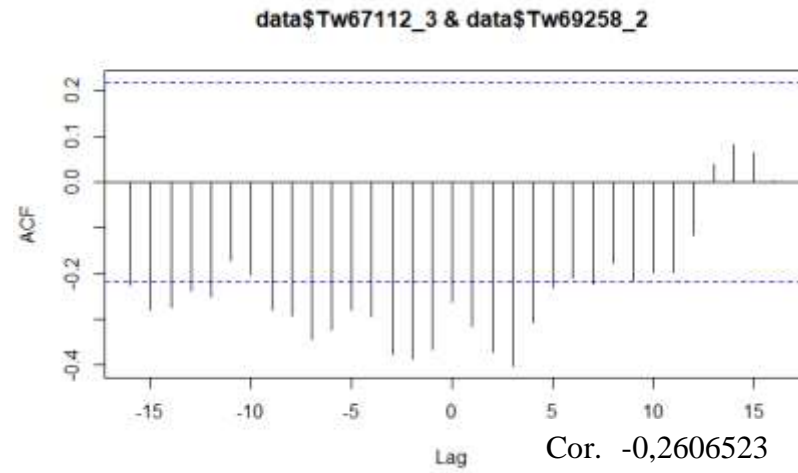
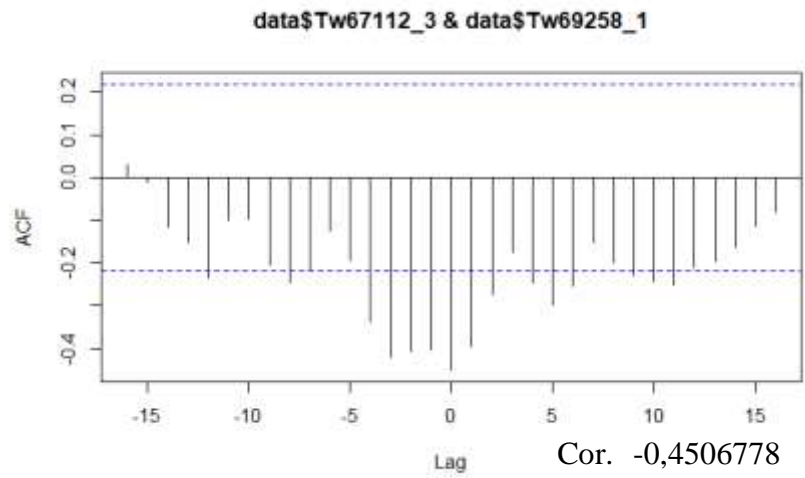


Fig. 64. Corrélogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-2 et Tw69258-1 ; Tw67112-3 et Tw69258-2 ; Tw67112-3 et Tw69258-3 ; Tw67112-3 et Tw69259-1.

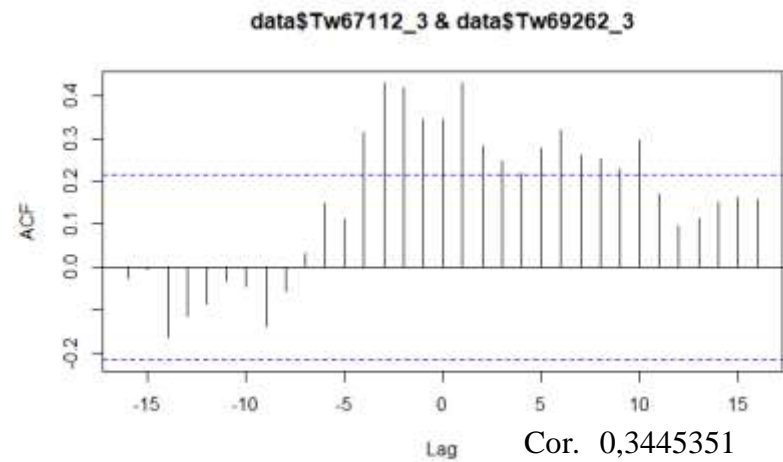
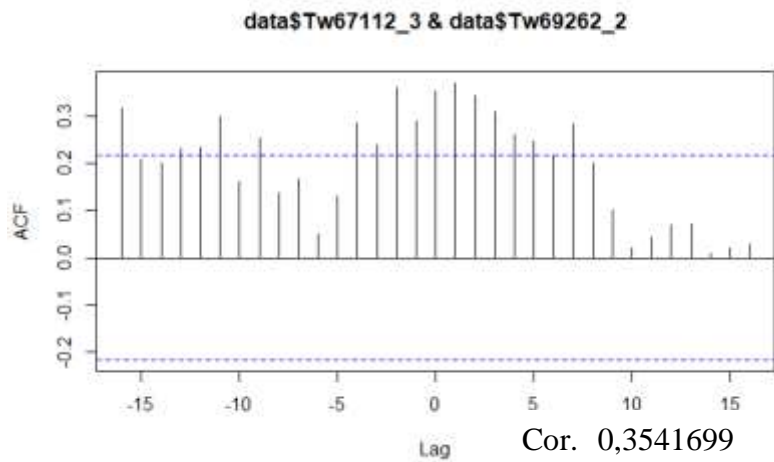
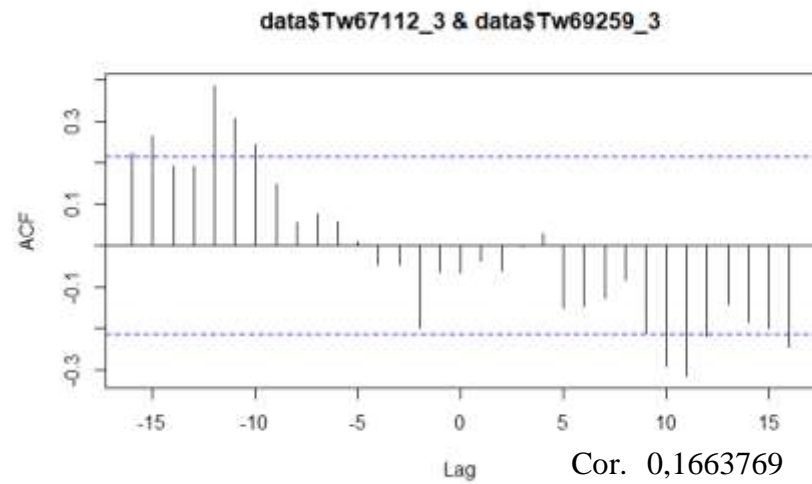
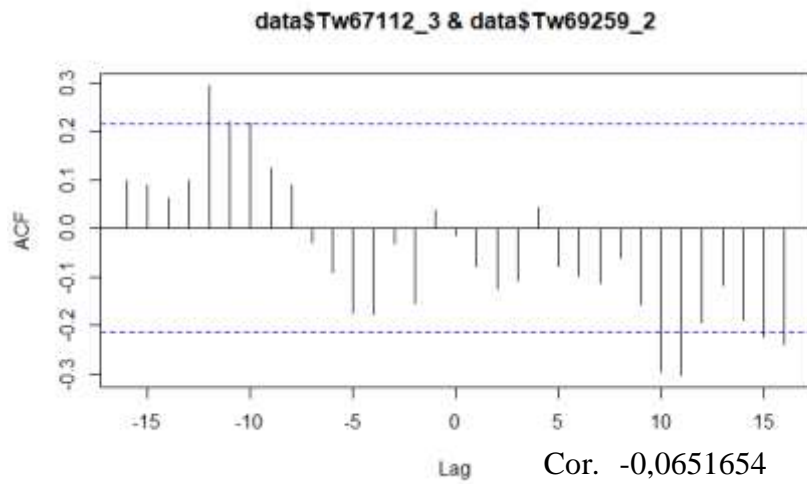


Fig. 65. Corrélrogramme de comparaison de la synchronisation des transects par espèce, cas de *T. scleroxylon*: Tw67112-2 et Tw69259-2 ; Tw67112-3 et Tw69259-3 ; Tw67112-3 et Tw69262-2 ; Tw67112-3 et Tw69262-3.

III.1.1.3.2.3. Estimation des âges des arbres, âges aux DMEs et âges biologiques de rotation

Les trois espèces présentent une différence d'âge, et une différence de durée de croissance (vie) en fonction des individus et des espèces. Pour *E. cylindricum*, l'âge minimal est de 31 ans et l'âge maximal étant de 169 ans, pour une durée de croissance (durée de vie) variant respectivement de 1985 - 2015 et de 1847 - 2015. Chez *E. suaveolens* l'âge minimal est de 65 ans et l'âge maximal étant de 145 ans, pour une durée de croissance (durée de vie) variant respectivement de 1951 - 2015 et de 1871 - 2015. Enfin *T. scleroxylon* l'âge minimal est de 55 ans et l'âge maximal étant de 85 ans, pour une durée de croissance (durée de vie) variant respectivement de 1961 - 2015 et de 1931 - 2015 (tableau XIV). *E. cylindricum* et *E. suaveolens* avaient les plus longues durées de vie (>140 ans), tandis que le *T. scleroxylon* a atteint sa durée de vie maximale à environ 85 ans (tableau XVI).

E. cylindricum atteint le DME (100 cm) avec un diamètre cumulé moyen à environ 155 ans, compte tenu du fait que le nombre d'individus pour cette espèce est réduit (n=8), l'intervalle d'âge n'est pas disponible (Fig. 32a). *E. suaveolens* atteint le DME (50 cm) pour les quatorze individus (n=14) avec un diamètre cumulé moyen pour les quatorze individus (n=14) autour de 69 ans, et l'intervalle d'âge de variation est 52-94 ans (Fig. 32b). Enfin *T. scleroxylon* atteint au MCD (80 cm) avec un diamètre cumulé moyen à environ 71 ans, et l'intervalle de variation individuelle va de 56-81 ans (Fig. 32c ; tableau XVI)

La moyenne de l'âge biologique de rotation varie en fonction des espèces : elle est de 117 ans pour *E. cylindricum*, de 133 ans pour *E. suaveolens* et de 79 ans pour *T. scleroxylon* (Fig.33 ; tableau XIX).

Tableau XIX. Rondelles par arbre/espèce et transects pour l'estimation de cernes/et de l'âge cambial, de la durée de croissance et des accroissements radiaux annuels

Espèce	N° Tw	Ø moyen (cm)	Nombre de cernes/âges	Durée de croissance	Nombre de transects	Accroissement annuel (mm)		radial
						Moyenne	Intervalle	
<i>E. cylindricum</i>	Tw69251	37	115	1901-2015	2	185,2	5-343,3	
	Tw69261	41,67	131	1885-2015	2	208,37	8,75-385,5	
	Tw69267	45,6	144	1872-2015	2	227,9	5,35-454,63	
	Tw69271	52,85	169	1847-2015	2	264,25	4,25-568,5	
	Tw69275	39	131	1885-2015	2	195	3,85-346	
	Tw69278	16,2	67	1949-2015	2	80,9	2,64-178,2	
	Tw69279	9,22	31	1985-2015	2	46	3,15-93,5	
	Tw69280	29,3	106	1910-2015	2	146,4	4,8-318,5	
	Moyenne	--	--	--	--	--	--	

Espèce	N° Tw	Ø moyen (cm)	Nombre de cernes/âges	Durée de croissance	Nombre de transects	Accroissement annuel (mm)		radial
						Moyenne	Intervalle	
<i>E. suaveolens</i>	Tw67114	44,8	136	1880-2015	2	224,05	3,4-471	
	Tw69247	35,1	109	1907-2015	2	175,3	1,2-335,2	
	Tw69252	49,7	127	1889-2015	2	248,6	2,3-473,7	
	Tw69253	61,9	134	1882-2015	2	309,4	3,9-615,5	
	Tw69254	45	119	1897-2015	2	225,1	2-437,9	
	Tw69260	43,5	145	1871-2015	2	217,4	3,8-467,1	
	Tw69264	45,3	114	1902-2015	2	226,7	5,4-467,5	
	Tw69265	36,7	122	1894-2015	2	184,6	3,9-405,3	
	Tw69266	41,7	95	1921-2015	2	208,6	3,6-427,2	
	Tw69273	46,8	97	1919-2015	2	234,3	5,9-498,9	
	Tw69274	35,1	109	1907-2015	2	175,3	1,2-335,2	
	Tw69276	23,9	87	1929-2015	2	119,6	2,5-243,8	
	Tw69277	15,7	65	1951-2015	2	78,7	3,1-175	
	Tw69283	27,6	105	1911-2015	2	138	2,6-293,6	
	Tw69113	35,4	109	1907-2015	2	177,1	2,9-351	
		Moyenne	--	--	--	--	--	--
<i>T. scleroxylon</i>	Tw67112	51,2	85	1931-2015	3	256,2	10,5-443,1	
	Tw69249	46,6	80	1936-2015	3	232,9	6-458	
	Tw69250	36,4	55	1961-2015	3	181,85	15,1-283,2	
	Tw69254	46,4	86	1930-2015	3	232,1	8,7-387,5	
	Tw69255	44,4	86	1930-2015	3	212,2	2,4-424,9	
	Tw69258	42,1	81	1935-2015	3	210,6	3,7-499,8	
	Tw69259	44,7	83	1933-2015	3	223,4	2,9-459,7	
	Tw69274	39,8	66	1950-2015	3	198,2	5,9-365,5	
	Tw69262	58,6	82	1934-2015	3	293,3	7,5-510,6	
	Tw69263	50,7	68	1948-2015	3	253,7	9,8-469,6	
	Tw6928a	15,2	67	1949-2015	3	76,2	7,1-155,6	
	Tw6928b	15,9	67	1949-2015	3	79,3	7,4-157,1	
		Moyenne	--	--	--	--	--	--

III.1.1.4. Estimation des accroissements (diamétriques et surfaces terrières)

III.1.1.4.1. Estimation des accroissements de la 1^{ère} phase

Pour *E. cylindricum*, la largeur de cerne moyenne est de 0,1 mm : le minimum étant de 0,02 mm et le maximum de 0,32 mm (Fig. 31 a) ; chez *M. altissima*, la largeur moyenne des cernes est de 0,08 mm, les valeurs minimum et maximum sont respectivement de 0,03 et 0,17 mm (Fig. 31 b) ; *M. excelsa*, la largeur moyenne est de 0,2 mm : les valeurs maximale et minimale sont respectivement de 0,54 mm et 0,6 mm (Fig. 31 c) ; enfin chez *T. scleroxylon*, la largeur moyenne de cerne est de 0,13 mm : la valeur minimale est de 0,36 mm et la valeur maximale de 0,52 mm (Fig. 31 d). De plus l'accroissement diamétrique moyen varie en fonction des espèces. Pour *E. cylindricum*, cet accroissement est de $0,68 \pm 0,42 \text{ cm.an}^{-1}$; chez *M. altissima*, de $0,71 \pm 0,31 \text{ cm.an}^{-1}$; chez *M. excelsa*, de $0,64 \pm 0,29 \text{ cm.an}^{-1}$ et chez *T. scleroxylon*, de $1,02 \pm 0,19 \text{ cm.an}^{-1}$ (tableau XX).

Tableau XX. Arbres et transects/espèce pour l'estimation de l'accroissement diamétrique annuel (AAM).

Espèce	Nombre d'arbre/transects	AAM (cm.an^{-1})
<i>E. cylindricum</i>	1/4	$0,68 \pm 0,42$
<i>M. altissima</i>	1/4	$0,71 \pm 0,31$
<i>M. excelsa</i>	1/6	$0,64 \pm 0,29$
<i>T. scleroxylon</i>	1/6	$1,02 \pm 0,19$

III.1.1.4.2. Estimation des accroissements de la 2^{nde} phase

Les trois espèces présentent une différence de moyenne d'accroissement radial annuel, en fonction des individus et des espèces. Pour *E. cylindricum*, ces valeurs sont respectivement de 46 à 264 mm ; chez *E. suaveolens*, de 78 - 217 mm et enfin chez *T. scleroxylon* de 76 - 256 mm (tableau XXI).

Le taux d'accroissement moyen varie de $0,63 \pm 0,32 \text{ cm/an}$ pour *E. cylindricum* ; de $0,73 \pm 0,29 \text{ cm/an}$ pour *E. suaveolens* et de $1,06 \pm 0,26 \text{ cm/an}$ pour *T. scleroxylon* (tableau XXI).

A la différence des autres espèces, l'accroissement de la surface terrière de *E. cylindricum* dans les phases juvéniles est relativement très lent, et l'accroissement annuel de la surface terrière se stabilise aux environs de 117 ans et décline graduellement après cet âge (Fig. 42a). L'accroissement de la surface terrière de *E. suaveolens* au stade juvénile est aussi très lent ; l'accroissement annuel de la surface terrière se stabilise à environ 133 ans et décline après cet âge (Fig. 42b). A l'opposé, l'accroissement de la surface terrière de *T. scleroxylon* pendant

les phases juvéniles est relativement rapide ; l'accroissement annuel de la surface terrière se stabilise sensiblement à 79 ans et décline après cet âge (Fig. 42c).

L'accroissement annuel de la moyenne de la surface terrière (\pm écart-type) varie entre $2,10^{-4} \pm 0,0002$ m²/an pour *E. cylindricum*, $2,10^{-4} \pm 0,0003$ m²/an pour *E. suaveolens* et $3,10^{-4} \pm 0,0003$ m²/an pour *T. scleroxylon* (tableau XXI). La moyenne de la surface terrière varie de 1100 cm² pour *E. cylindricum* ; de 190 cm² pour *E. suaveolens* et de 155 cm² pour *T. scleroxylon* (Fig. 43 a, b et c).

Tableau XXI. Arbres et transects/espèce pour l'estimation de l'accroissement diamétrique annuel et les écarts-types (ET); âge et intervalle d'âge au DME ; surface terrière (ST); et âge biologique de rotation

Espèce	Nombre d'arbres/transects	Accroissement diamétrique annuel (cm/an, \pm ET)	Âge au DME (année, intervalle)	Surface terrière (ST \pm ET) (m ² /an)	Âge biologique de rotation (année)
<i>E. cylindricum</i>	8 (16)	0,63 \pm 0,32	155 (---)	$2,10^{-4} \pm 0,0002$	117
<i>E. suaveolens</i>	15 (30)	0,73 \pm 0,29 qa	69 (52-98)	$2,10^{-4} \pm 0,0003$	133
<i>T. scleroxylon</i>	12 (36)	1,06 \pm 0,26	68 (56-81)	$3,10^{-4} \pm 0,0003$	79

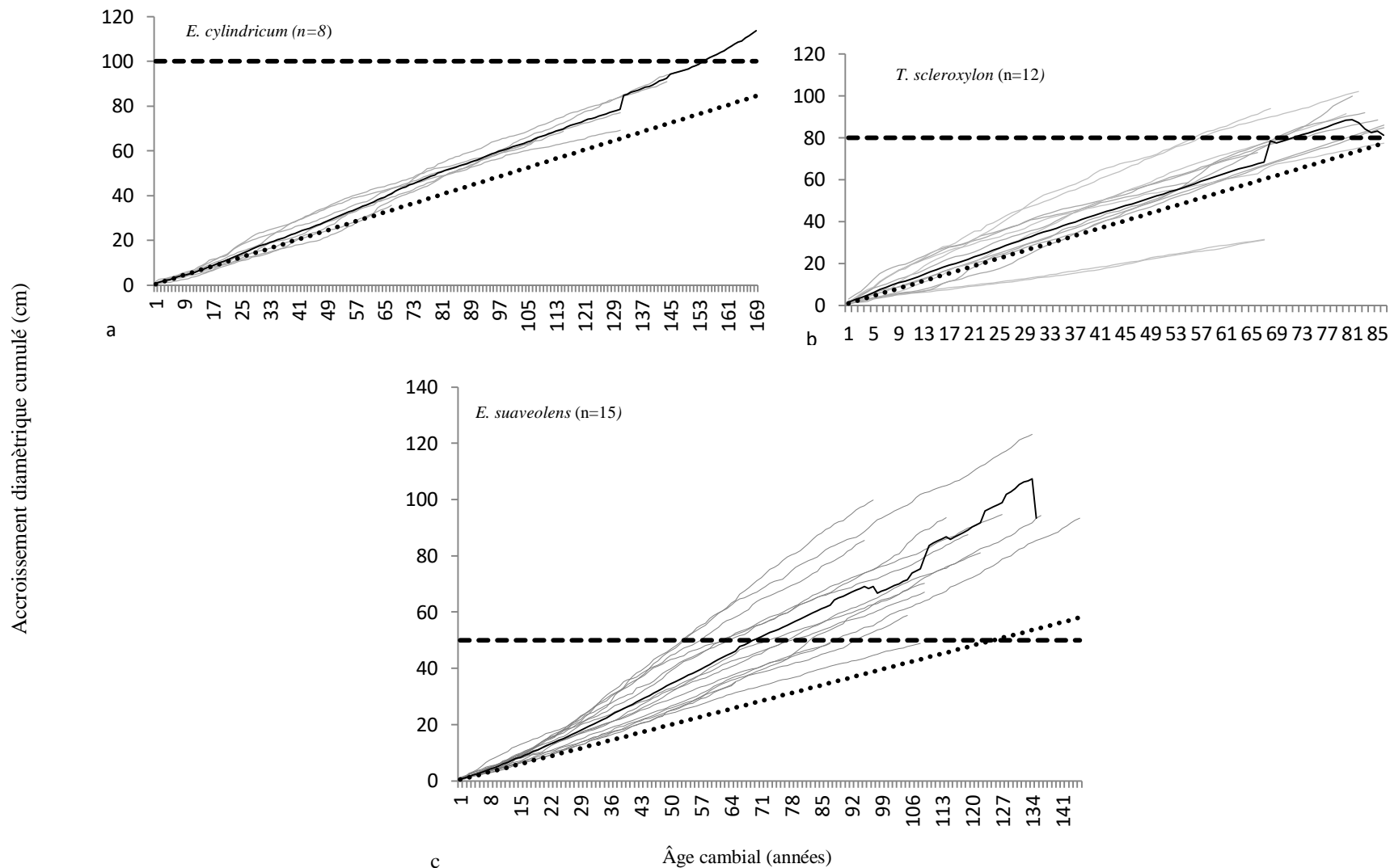


Fig. 66. Trajectoires de croissance en fonction de la durée de vie pour les trois espèces des forêts semi-décidues : lignes grises représentant les trajectoires de croissances individuelles des arbres ; ligne noire représentant la moyenne de croissance pour tous les individus de la même espèce ; ligne horizontale en trait interrompu, indique le DME pour chacune des espèces (Anonyme,2001a) et la ligne pointillée diagonale montre les accroissements annuels moyens légale pour ces espèces au Cameroun (Anonyme, 1999).

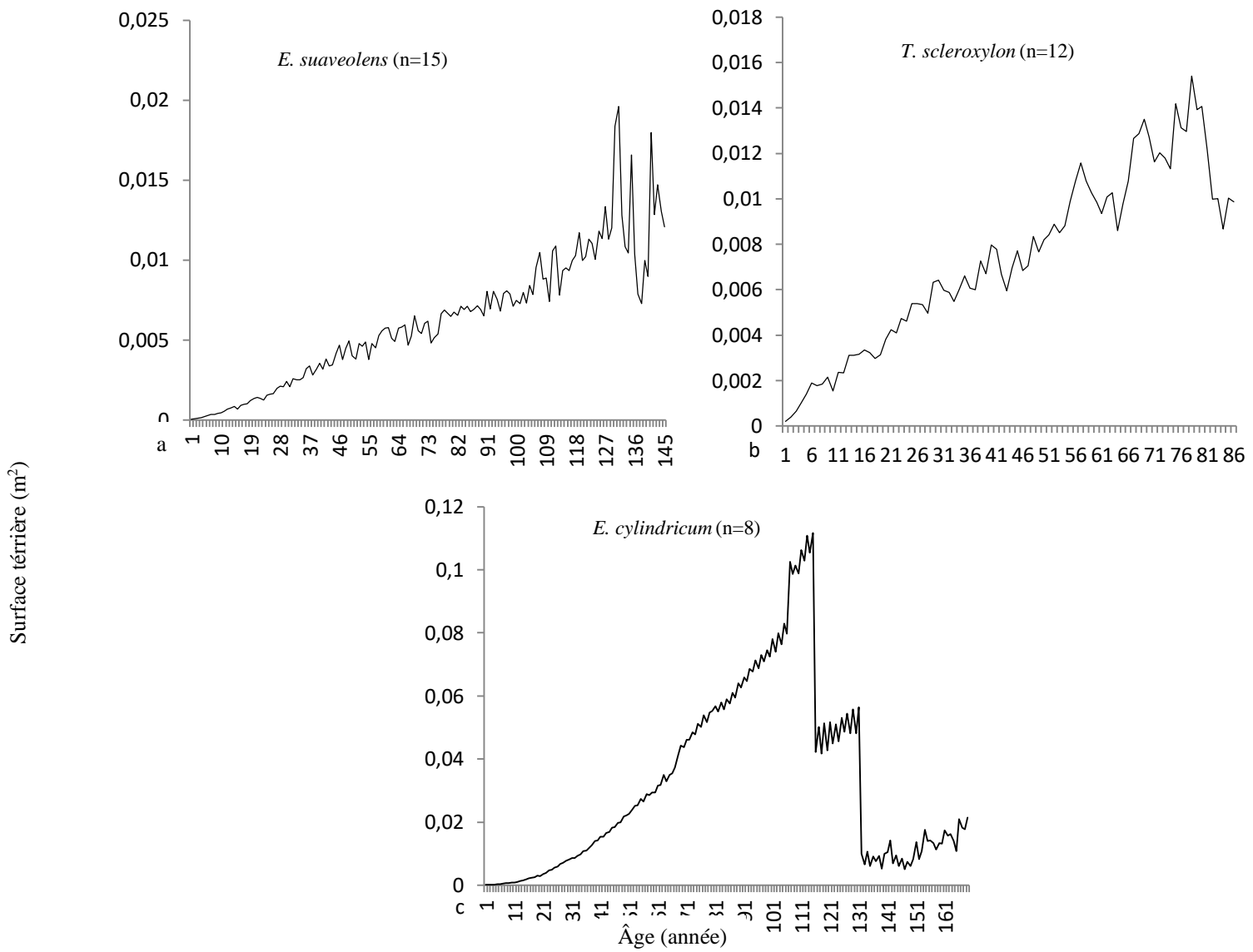


Fig. 67. Moyenne de la surface terrière en fonction de l'âge des arbres pour les trois espèces des forêts semi-décidues du Cameroun.

III.1.2. Variation radiale de la densité spécifique du bois

III.1.2.1. Variation radiale intra-/interspécifique de la densité de spécifique du bois

A la lumière des statistiques descriptives et de l'analyse de variances : ANOVA, à une valeur $P > 0,05$, la densité spécifique (DS) du bois varie pour chacune des espèces et entre ces neuf espèces. Ces variations radiales intra-/interspécifiques de la densité du bois sont les suivantes : pour *A. bipendensis*, l'intervalle de densité varie de 0,65 à 0,75 g.cm⁻³ et la moyenne est de $0,70 \pm 0,05$ g.cm⁻³; pour *C. gabunensis*, avec l'intervalle de DS varie de 0,65 à 0,75 g.cm⁻³ et la moyenne est de $0,79 \pm 0,14$ g.cm⁻³; chez *E. cylindricum*, la densité du bois varie de 0,64 à 0,74 g.cm⁻³ et la moyenne est de $0,69 \pm 0,05$ g.cm⁻³; chez *E. utile*, l'intervalle de densité du bois va de 0,51 à 0,59 g.cm⁻³ et la moyenne est de $0,55 \pm 0,03$ g.cm⁻³; pour *E. suaveolens*, la densité du bois varie de 0,78 à 0,84 g.cm⁻³ et la moyenne est de $0,81 \pm 0,03$ g.cm⁻³; chez *M. altissima*, la densité du bois varie de 0,61 à 0,65 g.cm⁻³ et la moyenne est de $0,63 \pm 0,02$ g.cm⁻³; pour *M. excelsa*, l'intervalle de densité de bois varie de 0,45 à 0,73 g.cm⁻³ et la moyenne est de $0,65 \pm 0,08$ g.cm⁻³; chez *P. soyauxii*, la densité du bois varie de 0,59 à 0,69 g.cm⁻³ et une moyenne de $0,64 \pm 0,05$ g.cm⁻³ et enfin chez *T. scleroxylon* les valeurs de DS de bois varie de 0,37 à 0,63 g.cm⁻³ et la moyenne est de $0,44 \pm 0,07$ g.cm⁻³ (tableau XXII ; Fig. 44).

Les observations des variations de densité de l'écorce à la moelle présentent trois différents types de variation radiale (Fig. 44). Le type 1 est représenté par les espèces dans lesquelles la DS augmente de l'écorce à la moelle à l'instar de *A. bipendensis*. Le type 2 correspond aux espèces dans lesquelles la DS décroît de l'écorce à la moelle, telles que *C. gabunensis*, *E. cylindricum*, *E. utile*, *E. suaveolens*, *M. excelsa* et *P. soyauxii*. Et enfin le type 3 qui est représenté par les espèces dans lesquelles la DS est substantiellement égale de l'écorce à la moelle, cas *M. altissima* et *T. scleroxylon* (Fig. 44, tableau XXII).

Au niveau des familles, il existe une différence significative entre les densités. Chez les Fabacées : *E. suaveolens* avec une densité moyenne de $0,81 \pm 0,03$ g.cm⁻³, est légèrement équivalente à celle de *C. gabunensis* ($0,79 \pm 0,14$ g.cm⁻³). Et ces deux dernières densités moyennes ne sont pas égales aux DS moyenne de *A. bipendensis* ($0,70 \pm 0,05$ g.cm⁻³) et de *P. soyauxii* ($0,64 \pm 0,05$ g.cm⁻³). Cette dernière espèce a la plus faible DS bois de la famille. Chez les Méliacées : *E. cylindricum* avec une DS moyenne de ($0,69 \pm 0,05$ g.cm⁻³), n'est pas identique à la DS moyenne de *E. utile* ($0,55 \pm 0,03$ g.cm⁻³). La densité des Moracées ne concerne que *M. excelsa* ($0,65 \pm 0,08$ g.cm⁻³). Chez les Malvaceae, il existe une différence significative entre les DS de *M. altissima* avec une densité de $0,63 \pm 0,02$ g.cm⁻³) et de *T. scleroxylon* avec une DS de $0,44 \pm 0,07$ g.cm⁻³ (Fig. 44).

III.1.2.2. Densité du bois, phénologie foliaire et tempérament

Les espèces sont classées en trois types phénologiques foliaires (abscission des feuilles) : décidues ; semi-décidues et sempervirentes. Des neuf espèces, sept sont décidues et classifiées en fonction de la densité bois décroissante : *E. suaveolens* ($0,81 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *A. bipendensis* ($0,70 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *E. cylindricum* ($0,69 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *M. altissima* ($0,63 \pm 0,02 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *M. excelsa* ($0,58 \pm 0,06 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *E. utile* ($0,55 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$) et *T. scleroxylon* ($0,44 \pm 0,07 \text{ g.cm}^{-3}$). Deux sont semi-décidues toujours en fonction de la : *C. gabunensis* ($0,79 \pm 0,14 \text{ g.cm}^{-3}$) et *P. soyauxii* ($0,64 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$). Au niveau de la phénologie foliaire (abscission des feuilles), les espèces décidues sont : *A. bipendensis*, *E. cylindricum*, *E. utile*, *E. suaveolens*, *M. altissima*, *M. excelsa* et *T. scleroxylon* ; par contre les semi-décidues sont *C. gabunensis* et *P. soyauxii* (tableau XXII).

Au niveau du tempérament, ces espèces ont été classifiées en deux des trois différents tempéraments possibles : héliophile pionnière ; héliophile non pionnière et tolérante à l'ombre. Les espèces héliophiles pionnières sont les suivantes, en fonction de la DS de bois : *E. suaveolens*, avec sa DS très élevé ($0,81 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *M. excelsa*, avec sa DS moyenne ($0,65 \pm 0,08 \text{ g.cm}^{-3}$) et *T. scleroxylon*, avec une DS faible ($0,44 \pm 0,07 \text{ g.cm}^{-3}$). Et les espèces héliophiles non pionnières sont : *C. gabunensis*, avec une DS élevé ($0,79 \pm 0,14 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *A. bipendensis*, avec une DS élevé ($0,70 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *E. cylindricum*, avec une DS élevé ($0,69 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *P. soyauxii*, avec une DS moyenne ($0,64 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$) ; *M. altissima*, avec une DS moyenne ($0,63 \pm 0,02 \text{ g.cm}^{-3}$) et *E. utile*, avec une DS faible ($0,55 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$) (tableau XXII ; XXIII).

III.1.2.3. Densité du bois estimée et densité de la littérature

la différence n'est pas significative ($P < 0,05$) entre les densités calculées/mesurées et celles de la base « GWDD » particulièrement pour les espèces dont les densités calculées sont inférieures aux densités de la base « GWDD » : *A. bipendensis* $0,70 (\pm 0,05) / 0,73 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$; *P. soyauxii* $0,64 (\pm 0,05) / 0,66 \pm 0,07 \text{ g.cm}^{-3}$. La densité calculé est supérieure à la densité de la base « GWDD » : *E. utile* $0,55 (\pm 0,03) / 0,54 \pm 0,04 \text{ g.cm}^{-3}$. Enfin, la densité calculée est sensiblement égale à la densité de la base « GWDD » : *C. gabunensis* $0,79 (\pm 0,14) / 0,79 \pm 0,07 \text{ g.cm}^{-3}$. A l'opposé la différence est significative pour les espèces suivantes : *E. cylindricum* $0,69 (\pm 0,05) / 0,57 \pm 0,04 \text{ g.cm}^{-3}$; *E. suaveolens* $0,81 (\pm 0,03) / 0,77 \pm 0,06 \text{ g.cm}^{-3}$; *M. altissima* $0,63 (\pm 0,02) / 0,56 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$; *M. excelsa* $0,65 (\pm 0,08) / 0,58 \pm 0,06 \text{ g.cm}^{-3}$ et *T. scleroxylon* $0,44 (\pm 0,07) / 0,33 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$ (tableau XXIII). De plus à ($P < 0,05$), la différence entre les moyennes de ces travaux et ceux de Maniatis *et al.*, (2011).

Tableau XXII. Phénologie foliaire (abscission des feuilles), tempérament, statistiques descriptives et résultats des analyses de variances de la localisation radiale et de la densité spécifique du bois des neuf espèces forestières.

Nom scientifique	Nom Commercial / local	Phénologie foliaire	Tempérament	DS à humidité 8 % en g.cm ³ [Min-Max]	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F-ratio	P
<i>A. bipendensis</i> (Fabaceae-Ceasalpinioideae)	Doussié Rouge/ M'bangá	Décidue	Héliophile non pionnière	0,70 ± 0,05 [0,65 - 0,75]	82,52	18	4,58	25,05	> 0,05
<i>C. gabunensis</i> (Fabaceae-Mimosoideae)	Okan/Adoum	Semi-décidue	Héliophile non pionnière	0,79 ± 0,14 [0,65 - 0,93]	82,66	18	4,59	24,11	> 0,05
<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae)	Sapelli/Assié	Décidue	Héliophile non pionnière	0,69 ± 0,05 [0,64 - 0,74]	82,50	18	4,58	25,15	> 0,05
<i>E. utile</i> (Meliaceae)	Sipo/Asseng-Assié	Décidue	Héliophile non pionnière	0,55 ± 0,03 [0,51 - 0,58]	76,90	18	4,27	24,19	> 0,05
<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae-Ceasalpinioideae)	Tali/Elon	Décidue	Héliophile pionnière	0,81 ± 0,03 [0,78 - 0,84]	82,50	18	4,58	24,11	> 0,05
<i>M. altissima</i> (Malvaceae)	Bété/Koul	Décidue	Héliophile non pionnière	0,63 ± 0,02 [0,61 - 0,65]	82,50	18	4,58	25,84	> 0,05
<i>Milicia excelsa</i> (Moraceae)	Iroko/Abang	Décidue	Héliophile pionnière	0,65 ± 0,08 [0,45 - 0,73]	82,58	18	4,58	25,67	> 0,05
<i>P. soyauxii</i> (Fabaceae-Papillionioideae)	Padouk/Mbel	Semi-décidue	Héliophile non pionnière	0,64 ± 0,05 [0,59 - 0,69]	82,50	18	4,58	25,72	> 0,05
<i>T. scleroxylon</i> (Malvaceae)	Ayous/Ayus	Décidue	Héliophile pionnière	0,44 ± 0,07 [0,37 - 0,63]	82,54	18	4,58	28,06	> 0,05

Tableau XXIII. Densité spécifique (DS) du bois des espèces forestières et celles des valeurs de DS de la base GWDD. Les valeurs de la littérature proviennent d'Afrique, toutes les espèces mesurées/calculées proviennent de la SFIL - UFA : 10 025 au Cameroun, (*) après le nom de l'espèce indique la différence significative ($p < 0,05$) entre les valeurs de moyennes mesurés/calculés et les moyennes pour ces espèces.

Nom scientifique	Nom Commercial/local	Nombre d'arbre/rondelle échantillonné pour les mesures	DS mesurée à humidité 8 % en g.cm^{-3} (\pm écart type)	Intervalle des valeurs de la DS mesurée [Min-Max]	Nombre de valeur de la DS d'après « GWDD »	Valeur de la DS « GWDD » \pm écart type (g.cm^{-3})	Intervalle des valeurs de la DS d'après « GWDD » (g.cm^{-3})
<i>A. bipendensis</i> (Fabaceae)	Doussié Rouge/ M'bangá	01/02	$0,70 \pm 0,05$	[0,65 - 0,75]	11	$0,73 \pm 0,05$	0,66 - 0,82
<i>C. gabunensis</i> (Fabaceae)	Okan/Adoum	01/02	$0,79 \pm 0,14$	[0,65 - 0,93]	18	$0,79 \pm 0,07$	0,62 - 0,97
<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae)*	Sapelli/Assié	01/02	$0,69 \pm 0,05$	[0,64 - 0,74]	16	$0,57 \pm 0,04$	0,50 - 0,63
<i>E. utile</i> (Meliaceae)	Sipo/Asseng-Assié	01/01	$0,55 \pm 0,03$	[0,51 - 0,58]	18	$0,54 \pm 0,04$	0,44 - 0,58
<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae)*	Tali/Elon	01/02	$0,81 \pm 0,03$	[0,78 - 0,84]	20	$0,77 \pm 0,06$	0,69 - 0,87
<i>M. altissima</i> (Malvaceae)*	Bété/Koul	01/03	$0,63 \pm 0,02$	[0,61 - 0,65]	23	$0,56 \pm 0,03$	0,47 - 0,63
<i>M. excelsa</i> (Moraceae)*	Iroko/Abang	01/03	$0,65 \pm 0,08$	[0,45 - 0,73]	24	$0,58 \pm 0,06$	0,44 - 0,67
<i>P. soyauxii</i> (Fabaceae)	Padouk/Mbel	01/03	$0,64 \pm 0,05$	[0,59 - 0,69]	14	$0,66 \pm 0,07$	0,57 - 0,81
<i>T. scleroxylon</i> (Malvaceae)*	Ayous/Ayus	01/03	$0,44 \pm 0,07$	[0,37 - 0,63]	24	$0,33 \pm 0,03$	0,28 - 0,41

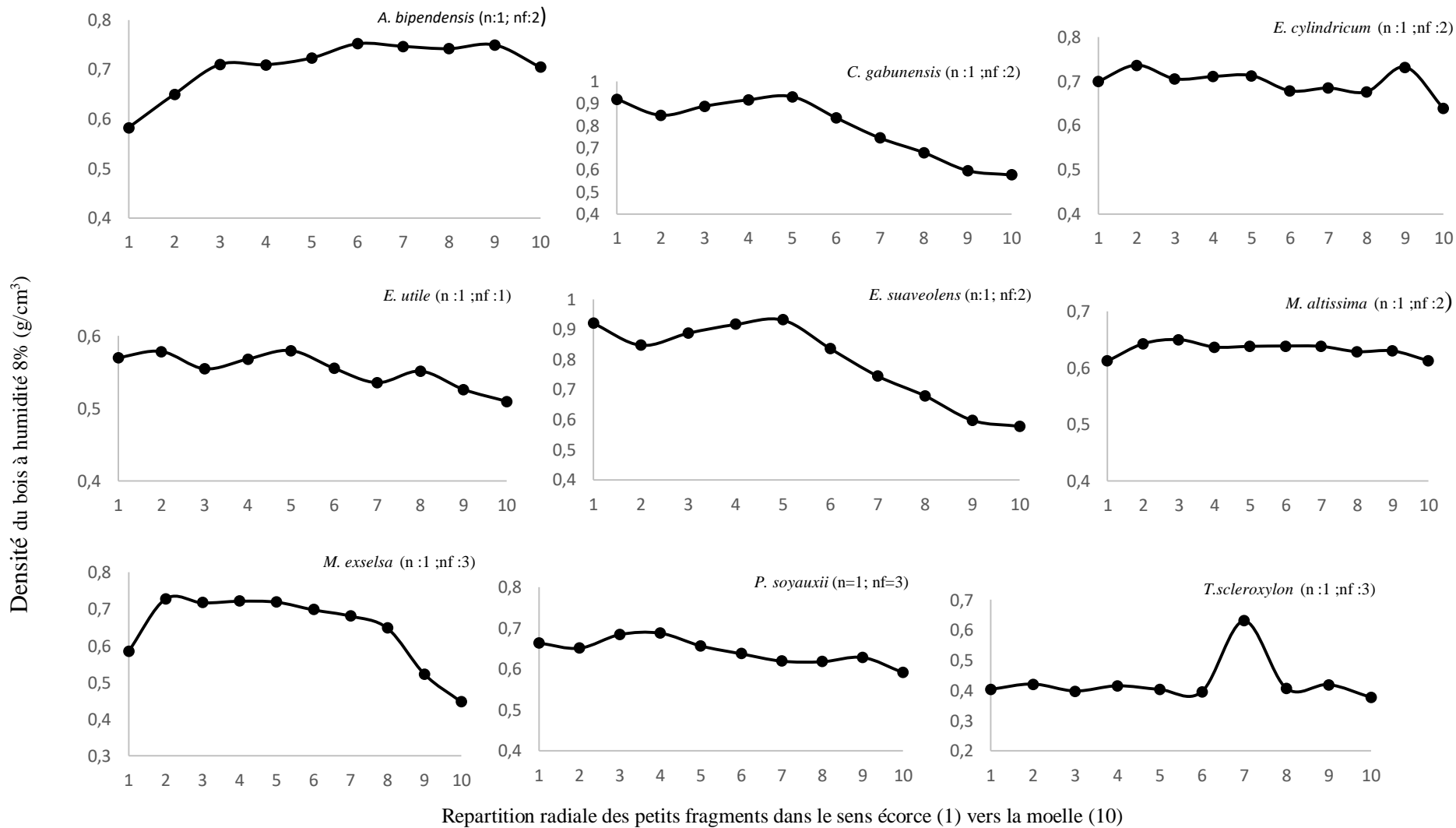


Fig. 68. Variation radiale de la densité du bois mesuré à humidité 8 % tout au long de la distance d'un rayon/transect de l'écorce (1) à la moelle (10) pour les neuf espèces des forêts semi-décidues du Cameroun, n : nombre de rondelle de bois ; nf : nombre de sous fragment de la rondelle de bois.

III.1.3. Relation hauteur totale et-diamètre des arbres

A la lumière des 45 observations (individus) des paramètres dendrométriques : hauteur totale (HT) et diamètre gros bout (DGB) de *E. cylindricum*, l'intervalle de confiance des moyennes est de HT= 41,24 ± 8,37 m ; DGB = 116,19 ± 28,57 cm. Le paramètre de la taille a un intervalle de confiance assez étroit, celui de la constante du modèle est assez large et le modèle indique que dans les limites de l'intervalle de variation de la variable DGB données pour ces 45 observations, à chaque fois que la DGB augmente d'1 m, la HT gagne 20 m. L'équation modèle de *E. cylindricum* est de : HT (m) = 17,79 + 20,18*DGB (m) et le résidu à la courbe de régression linéaire (tableau XXIV ; Fig. 45a). La probabilité associée au F (test de Fisher) pour toutes les trois espèces (*E. cylindricum* ; *E. suaveolens* et *T. scleroxylon*) échantillonnées est dans ce cas inférieure à 0,0001 : cela signifie qu'on prend le risque de se tromper de 0,01 % donc hautement significative. De la même manière toujours pour ces 45 individus, le résidu à la courbe de régression linéaire est fonction du DGB des arbres (Fig. 46a). Cette variable explicative est hautement significative pour toutes les espèces (tableau XIX ; Fig. 45a, b et c).

Tableau XXIV. Analyse statistique des paramètres dendrométriques des trois espèces.

Espèces	Statistique descriptive		Variance	Paramètres de l'équation de régression : $y = b + ax$	
	HT (m)	D (m)	F value	b : constante	a : coefficient directeur
<i>E. cylindricum</i>	41,24 ± 8,36	1,16 ± 0,28	38,90	17,79	20,18
<i>E. suaveolens</i>	35,38 ± 4,73	0,95 ± 0,16	12,67	26,08	9,74
<i>T. scleroxylon</i>	43,29 ± 6,75	1,12 ± 0,24	26,26	27,40	14,21

Sur la base des 99 observations (individus) des paramètres dendrométriques : hauteur totale (HT) et diamètre gros bout (DGB) de *E. suaveolens* l'intervalle de confiance des moyennes est de HT= 35, 38 ± 4, 72 m ; DGB = 95, 39 ± 16, 49 cm. Le paramètre taille (HT) a un intervalle de confiance assez étroit, celui de la constante du modèle est assez large et le modèle indique que dans les limites de l'intervalle de variation de la variable DGB données par les 99 observations, à chaque fois que le DGB prend 1 m, à la HT s'ajoute 9 m. L'équation

modèle de *E. suaveolens* est de : $HT (m) = 26,08 + 9,74 * DGB (m)$ (tableau. XXIV ; Fig. 45b). Toujours pour ces 99 observations, le résidu à la courbe de régression linéaire est fonction du DGB des arbres (Fig. 46b).

Enfin, les 82 observations (individus) des paramètres dendrométriques HT et DGB de *T. scleroxylon*, l'intervalle de confiance des moyennes est de $HT = 43,29 \pm 6,75$ m ; $DGB = 111,78 \pm 23,62$ cm. Le paramètre de la taille a un intervalle de confiance assez étroit, celui de la constante du modèle est assez large. Le modèle indique que dans les limites de l'intervalle de variation de la variable DGB donné par ces 82 observations, à chaque fois que le DGB augmente d'1 m, à la HT est ajouté 14 m. L'équation modèle de *T. scleroxylon* est : $HT (m) = 27,40 + 14,21 * DGB (m)$ (tableau XXIV ; Fig. 45c). Le résidu à la courbe de régression linéaire pour ces 82 individus est fonction du DGB des arbres (Fig. 46c). A la lumière de ces statistiques descriptives, ces régressions indiquent pour les trois espèces que la probabilité associée au F est inférieure à 0,0001 donc hautement significative, ce veut dire que la prédiction de la hauteur totale d'un individu de l'une de ces espèces est faite en utilisant le modèle linéaire qui lui est associé, on prend alors le risque de se tromper de 0,01 %. La meilleure espèce en terme de hauteur par rapport au diamètre est *E. cylindricum* (Meliaceae) car ayant un coefficient de détermination $R^2 = 0,47$. Elle est immédiatement suivie par *T. scleroxylon* (Malvaceae) et *E. suaveolens* (Fabaceae) qui ont respectivement des $R^2 = 0,25$ et $0,12$.

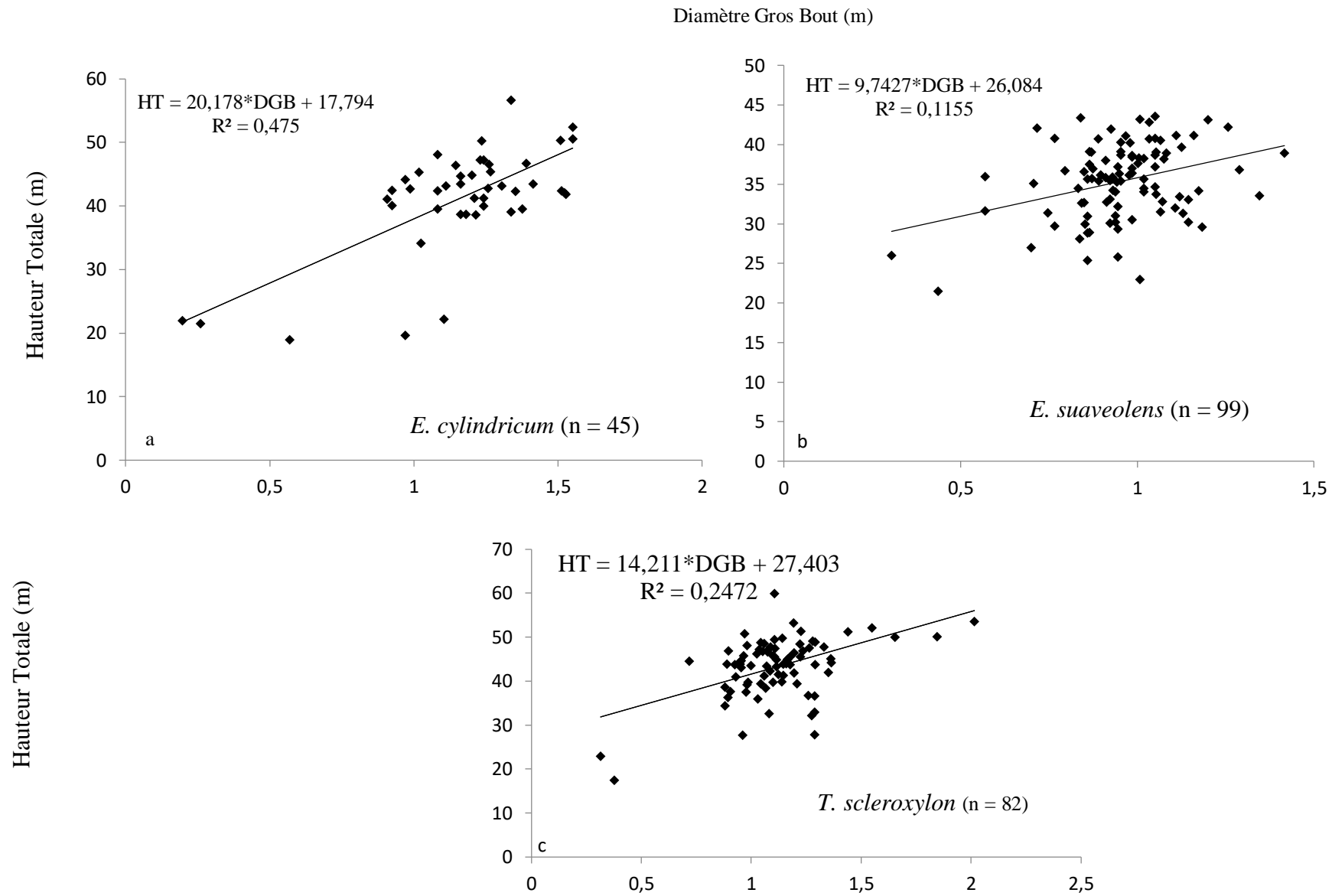


Fig. 69. Courbes/Equations de régressions linéaires pour les trois espèces des forêts semi-décidues du Cameroun.

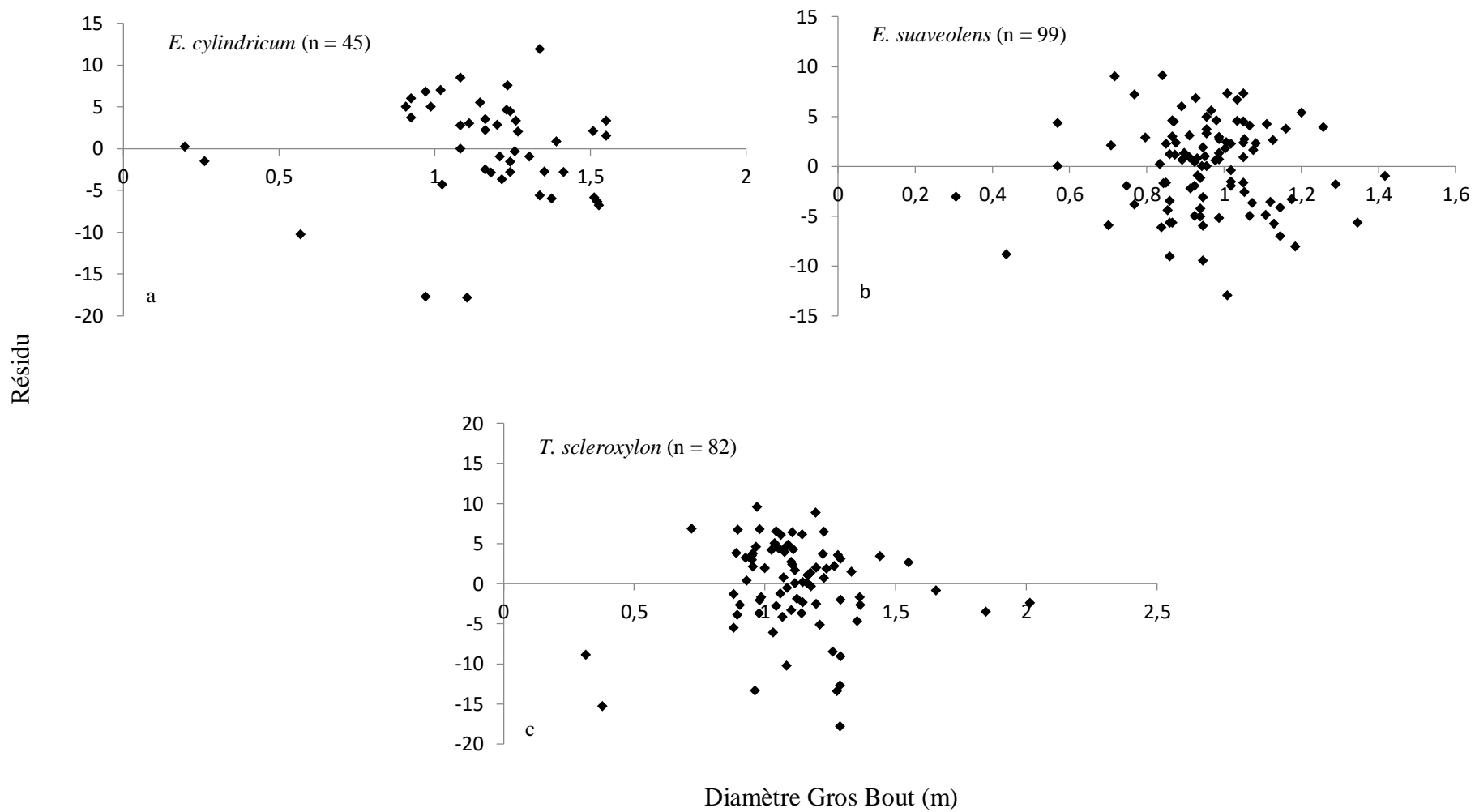


Fig. 70. Résidus des courbes de régressions linéaires pour les trois espèces des forêts semi-décidues du Cameroun

III.2. DISCUSSION

III.2.1. Cernes de croissance

III.2.1.1. Profil macro- /microscopique de la structure des cernes, anomalies des cernes

III.2.1.1.1. Aspect macroscopique des rondelles de bois

Les résultats de l'examen macroscopique des rondelles de bois de ces neuf espèces ont permis de caractériser ces dernières. Hormis *T. scleroxylon* qui a un aubier/duramen non différencié, toutes les huit autres espèces ont un aubier/duramen différencié. La couleur de ces différentes parties pour chacune d'elles est bien déterminée. Ces résultats sur les bois frais sont en accord avec ceux de Vivien et Faure (1985 ; 2011) ; Anonyme (2008 ; 2012) et aussi avec quelques variations moindres pour les bois secs à ceux de Chudnoff (1980) ; Détienne *et al.* (1998) ; Richter et Dallwitz (2000).

III.2.1.2 Profil macro- /microscopique de la structure des cernes, anomalies des cernes

Pour les neuf espèces forestières commerciales de la forêt tropicale humide originaire de la région de l'Est Cameroun, l'analyse de leurs cernes de croissance est possible. La plupart de ces espèces forment des limites des cernes distinctes (Wheeler, 2011). Compte tenu des difficultés d'analyse, l'étude s'est focalisée sur quatre espèces décidues: *E. cylindricum*, *M. altissima*, *M. excelsa* et *T. scleroxylon*. Le potentiel d'analyse des limites des cernes de croissance est bon (+) pour *M. excelsa* et élevé (++) pour les trois autres : *E. cylindricum*, *M. altissima* et *T. scleroxylon*.

De même pour les trois plus importantes espèces forestières commerciales de la forêt tropicale humide originaire de la région de l'Est Cameroun, l'analyse de leurs cernes est possible. Les espèces formant des limites de cerne distinctes étaient décidues (*E. cylindricum* et *T. scleroxylon*), tandis que l'espèce formant les limites de cernes moins distinctes était décidue avec une très courte période de perte de feuilles (*E. suaveolens*) (Groenendijk *et al.*, 2014 ; Fétéké *et al.*, 2016 ; Lowe, 1961). Le potentiel d'analyse de cernes est possible pour *E. suaveolens* (+/-) ou élevé pour *E. cylindricum* et *T. scleroxylon* (++)). L'identification (des limites de cernes) macroscopique sur les sections poncées et microscopiques sur les coupes fines des sections transversales des échantillons de bois confirme bien l'existence et la lisibilité des cernes dans le bois des trois espèces étudiées.

Cette proportion est conforme aux études en zone sèche (Brienen *et al.*, 2009 ; Tarhule *et al.*, 2002 ; Trouet *et al.*, 2006) et dans les forêts humides (Beltran Guirrez et Valencia Ramos, 2013 ; Groenendijk *et al.*, 2014), ce qui suggère que le potentiel d'analyse des

cernes pour les forêts humides est similaire à celui des environnements plus secs. La description anatomique du bois et le caractère annuel de la formation des cernes de croissance ont été prouvés à l'aide de l'analyse des cernes ou d'autres méthodes de datation des cernes pour ces espèces (Détienne et Mariaux 1976 ; 1977 ; Détienne *et al.*, 1998).

Sur le plan macroscopique, les limites de cernes distinctes sont caractérisées par les bandes de parenchyme terminal, qui étaient les plus claires à marquer. Et sur le plan microscopique, un changement brusque de l'épaisseur de paroi de la fibre et du diamètre radial de la fibre marqué par les cernes de croissance distincts. La diversité des cernes de croissance devrait être reconnue sans être limitée à des caractéristiques distinctes, indistinctes ou absentes (Tarelkin *et al.*, 2016). Même si la caractéristique est indistincte, il est important de souligner que l'identification et la mesure des cernes individuels étaient possibles.

Pour toutes ces espèces, les problèmes rencontrés sont communs à ceux de la dendrochronologie tropicale : cernes étroits, faux cernes, cernes manquants, cernes discontinus et variation intra-annuelle de densité ressemblant à des limites des cernes (Détienne et Mariaux 1976 ; 1977). En plus de ces anomalies, l'identification des cernes autour de la moelle (cernes juvéniles) et en dessous de l'écorce a été aussi problématique, en raison de la structure du bois dans ces zones. En particulier, tous les arbres croissant dans les conditions climatiques difficiles sont susceptibles de développer de multiples cernes manquants (Wils *et al.*, 2010). Les cernes discontinus, partiels ou incomplets étaient le problème le plus important (Groenendijk *et al.*, 2014 ; Trouet *et al.*, 2010).

Tous ces problèmes (anomalies) ont été signalés dans plusieurs études et ont conduit les chercheurs précédents à recommander des mesures de cernes de croissance sur les rondelles de bois plutôt que dans les carottes de bois (Worbes, 2002 ; Brien et Zuidema, 2005), recommandation réitérée par la présente étude. Les corrections d'erreurs de mesure des cernes de croissance ont été faites par la vérification de la continuité de ces dernières sur toute la surface (circonférence) de la rondelle de bois (Brien et Zuidema, *op. cit.*).

III.2.1.3. Estimation des âges des arbres, âges aux DMEs et âges biologiques de rotation.

Les âges des quatre espèces obtenus par l'analyse des cernes sont respectivement de : 137 ans pour *E. cylindricum*, 126 ans pour *M. altissima*, 87 ans pour *M. excelsa* et 67 ans pour *T. scleroxylon*. Ces âges sont comparables à ceux obtenus chez *E. cylindricum* (66 ans) et chez *T. scleroxylon* (124 ans) par Worbes *et al.* (2003). De plus, ces résultats peuvent aussi être

comparables à ceux obtenus pour *E. cylindricum* (208 ans) et *M. excelsa* (158 ans) par Nzogang (2009). L'analyse des cernes des trois espèces relève que l'âge pour atteindre le DME (100 cm) est ~ 155 ans chez *E. cylindricum* ; en moyenne 69 ans avec un intervalle de 52-94 ans pour atteindre le DME (50 cm) chez *E. suaveolens* et en moyenne 71 ans avec un intervalle de 56-94 ans pour atteindre le DME (80 cm) chez *T. scleroxyton*. Ces résultats sont comparables à ceux des espèces *E. cylindricum* et *T. scleroxyton*, avec des âges respectifs de 66 ans et 124 ans obtenus par Worbes *et al.* (2003).

Ils sont aussi comparables à ceux de Nzogang (2009), où l'âge pour atteindre le DME d'*E. cylindricum* est de 172 ans ; et ceux de Détienne *et al.* (1998) où cet âge est de ~250 ans. Pour l'espèce héliophile à croissance rapide *T. scleroxyton*, pour atteindre le DME cet âge est de ~75 ans Détienne *et al.* (op. cit.) ; 88 ans selon Ligot *et al.* (2019) et de ~ 83 ans selon Worbes *et al.*, (op. cit.).

Pour les autres espèces congénères : *E. candollei*, est de 144 ans ; *E. utile* est de 126 ans au DME (80 cm) ; *E. ivoirensis* est de 96 ans au DME (50 cm) d'après (Nzogang, op. cit.) ; *E. utile* est de 126 ans au DME (80 cm) selon (Groenendijk *et al.*, 2014, 2017). Chez d'autres espèces tropicales, telles que *Terminalia superba*, l'âge d'atteinte du DME (60 cm) est de 60 ans selon (De Ridder *et al.*, 2013b) ; *Brachystegia eurycoma* est de 100 ans, *Daniellia ogea* est de 148 ans et *Terminalia ivorensis* est de 45 ans pour atteindre le DME (60 cm) selon Groenendijk *et al.* (2014 ; 2017).

D'après les travaux de Couralet (2010), pour que *Prioria balsamifera* atteigne le DME (50 cm), l'âge varie entre 61 et 128 ans, malgré le fait que tous les arbres avaient un diamètre de 60 cm.

Les résultats de ces travaux ont été corroborés avec les espèces d'autres régions tropicales du monde (Brienen et Zuidema 2005, 2006a ; Fichtler *et al.*, 2003 ; Lopez *et al.*, 2013 ; Lotfiomran et Köhl 2017 ; Trouet *et al.*, 2006; Schongart *et al.*, 2006).

Nos analyses indiquent que ces espèces peuvent être coupées avant le temps d'exploitation. En général, l'âge biologique de rotation pour ces espèces varie entre 177 ans (*E. cylindricum*), 133 ans (*E. suaveolens*) et 79 ans (*T. scleroxyton*). La différence d'âge entre le temps nécessaire pour atteindre le DME et l'âge biologique de rotation fournit une bonne estimation pour prolonger la durée de vie des arbres. Ces augmentations de la durée de vie pourraient permettre à la plupart des espèces de maximiser leur productivité biologique, ce qui, à son tour, ajoutera une plus-value pour le maintien des grands arbres dans les forêts tropicales.

Ces résultats (âge biologique de rotation) ne peuvent être comparés à ceux reportés dans l'étude sur d'autres espèces dans les forêts du bassin du Congo (De Ridder *et al.*, 2013b). À l'opposé, ils sont comparables à ceux de l'étude sur l'âge biologique de rotation pour quelques espèces des forêts Amazoniennes de la Bolivie. Par exemple, il a été estimé que la période requise pour atteindre le cycle d'exploitation pour cinq espèces des forêts Amazoniennes varie entre 61 et 179 ans (Brienen et Zuidema, 2006a) et pour les autres six espèces des forêts Amazoniennes de 80 à 130 ans (López *et al.*, 2013).

Aucune recommandation ne peut être faite sur le cycle de rotation de 30 ans et sur l'intensité maximale d'exploitation d'environ 80 %, parce que cette étude ne combine pas les données de croissance avec les diamètres de distribution pour les prédictions de prélèvement pour ces trois espèces forestières. En plus, pour *E. cylindricum* et *T. scleroxylon*, les très grandes rondelles n'étaient pas faciles à transporter, car elles se cassaient facilement ; par contre, les rondelles de bois d'*E. suaveolens* (espèce à croissance lente) étaient grandes et ne se cassaient pas durant le transport.

III.2.1.4. Détermination des accroissements annuels

Les valeurs des accroissements diamétriques de cette étude ont approfondi les analyses sur quatre espèces en utilisant la méthode d'analyse des cernes de croissance.

En général, les valeurs d'accroissement obtenues par cette étude pour *E. cylindricum*, *M. altissima*, *M. excelsa* et *T. scleroxylon* sont respectivement de ($0,68 \pm 0,42$; $0,71 \pm 0,31$; $0,64 \pm 0,29$ et $1,02 \pm 0,19$ cm.an⁻¹). Ces valeurs sont supérieures à celles de l'administration forestière Camerounaise pour ces espèces et sont respectivement de 0,5 cm.an⁻¹ pour *E. cylindricum*, *M. altissima* et *M. excelsa* et de 0,9 cm.an⁻¹ pour *T. scleroxylon* (Anonyme, 1999 ; 2001a).

Plus spécifiquement chez *E. cylindricum*, cette valeur d'accroissement est 136 % supérieure à celle de l'administration forestière. Chez *M. altissima* cette valeur d'accroissement est 142 % supérieure à celle de l'administration. Chez *M. excelsa* cette valeur est 128 % supérieure à celle de l'administration et enfin chez *T. scleroxylon* cette valeur est 133 % supérieure à celle de l'administration forestière.

De même, la valeur d'accroissement obtenue pour *T. scleroxylon* est supérieure aux autres valeurs. Cette dernière est suivie de la valeur de *M. altissima*, puis de celle d'*E. cylindricum* et enfin, de celle de *M. excelsa*. Compte tenu de notre échantillonnage réduit à 1 arbre/espèce.

Il est fort possible que les accroissements annuels moyens de l'administration forestière sous-estiment les accroissements obtenus par cette étude.

Cette étude préliminaire avait pour but de tester la méthode d'analyse des cernes avant de se lancer dans des études d'analyses de grande envergure sur différentes espèces tropicales.

Les accroissements annuels moyens pour ces différentes espèces ont été fournis par d'autres études faites par différents auteurs. Certaines ont été faites sur les parcelles permanentes (PPs), d'autres sur les analyses des cernes sur les rondelles de bois ou des carottes et enfin sur les marquages cambiaux.

Pour *E. cylindricum*, la valeur d'accroissement de $0,68 \pm 0,42$ cm.an⁻¹ est supérieure à toutes les valeurs des différentes études, soit: $0,4 - 0,5$ cm.an⁻¹ (Alder, 1989) ; $0,48 \pm 0,09$ cm.an⁻¹ selon (Anonyme, 1975a) ; $0,34$ cm.an⁻¹ (Détienne et Mariaux, 1977) ; $0,64 \pm 0,19$ cm.an⁻¹ selon (Jardin, 1995) ; $0,33 \pm 0,31$ cm.an⁻¹ (Bedel *et al.*, 1997) ; $0,28 \pm 0,22$ cm.an⁻¹ (Durrieu *et al.*, 1997) ; $0,39/0,47$ cm.an⁻¹ (Détienne *et al.*, 1998) ; $0,26 \pm 0,06$ cm.an⁻¹ (Worbes *et al.*, 2003) ; $0,5 \pm 0,05$ cm.an⁻¹ (Nzogang, 2009) ; $0,51 \pm 0,16$ cm.an⁻¹ (Fétéké *et al.*, 2015) ; $0,30-0,66$ cm.an⁻¹ (Fétéké *et al.*, 2016).

Chez *M. altissima*, la valeur d'accroissement de $0,71 \pm 0,31$ cm.an⁻¹ est supérieure à celle obtenue de $0,57$ cm.an⁻¹ (Durrieu de Madron, 2003).

Chez *M. excelsa*, la valeur d'accroissement de $0,64 \pm 0,29$ cm.an⁻¹ est supérieure à celles obtenues dans de nombreux travaux, soit: $0,4 - 0,5$ cm.an⁻¹ (Alder, 1989) ; $0,59 \pm 0,09$ cm.an⁻¹ (Anonyme, 1975a) ; $0,51 \pm 0,09$ cm.an⁻¹ (Durrieu de Madron, 2003) ; $0,55 \pm 0,05$ cm.an⁻¹ (Nzogang, 2009).

Chez *T. scleroxylon*, la valeur d'accroissement de $1,02 \pm 0,19$ cm.an⁻¹ est supérieure aux autres études soit : $0,92 \pm 0,15$ cm.an⁻¹ (Anonyme, 1975a) ; $0,8 - 1$ cm.an⁻¹ (Alder, 1989) ; $0,62 \pm 0,28$ cm.an⁻¹ (Détienne *et al.*, 1998) ; $0,26 \pm 0,06$ cm.an⁻¹ (Worbes *et al.*, 2003) ; $0,51 \pm 0,02$ cm.an⁻¹ (Battipaglia *et al.*, 2015) ; $0,94 \pm 0,53$ cm.an⁻¹ (Durrieu de Madron *et al.*, 1997) ; avec la valeur inférieure $1,02 \pm 0,19$ cm.an⁻¹ à celle obtenu, de $1,38 \pm 0,44$ cm.an⁻¹ (Jardin, 1995) ; avec des intervalles de valeur inférieure et supérieure $1,02 \pm 0,19$ cm.an⁻¹ à celle obtenu dont l'accroissement annuel moyen est de $0,50 - 1,72$ cm.an⁻¹ (Détienne & Mariaux, 1976) ; $0,45 - 1,14$ cm.an⁻¹ (Ligot *et al.*, 2019) (Annexe 1).

L'analyse des cernes (*E. cylindricum*, *E. suaveolens* et *T. scleroxylon*) offre la possibilité d'obtenir les informations sur l'accroissement en temps réel des arbres et peut durablement contribuer à l'exploitation forestière durable et à la durée de rotation entre deux coupes sur le même espace (Brienen & Zuidema 2006a ; De Ridder *et al.*, 2013b ; Schongärt *et al.*, 2007).

Cette analyse peut s'appliquer dans la gestion forestière des forêts tropicales humides sempervirentes et semi-décidues, pour l'obtention des données de croissance locales et spécifiques à chacune des espèces et pour déterminer l'âge des arbres de chaque individu par espèce.

Ces informations pouvant être utilisées pour planifier et évaluer la gestion forestière. Au Cameroun, les décisions de gestion (DME, accroissement annuel moyen, intensité d'exploitation et durée de rotation) sont basées sur des calculs de rendement de bois utilisant le logiciel TIAMA (Anonyme, 1999). Ces calculs sont effectués à l'aide des taux d'accroissement moyens fixés par la loi pour chacune des espèces et établis par le MINFOF. Il faut noter que l'utilisation de ces taux d'accroissement pour calculer les rendements futurs en bois pose trois problèmes potentiels : (1) Les taux fixés peuvent être incorrects (trop élevés ou trop faibles), ce qui peut conduire à une réglementation incorrecte de l'intensité d'exploitation ou de la durée du cycle de coupe ; (2) les modèles de croissance ontogénétiques sont ignorés lorsqu'on utilise un seul taux de croissance moyen à vie pour une espèce donnée ; et (3) les différences persistantes de croissance entre les individus d'une même espèce sont ignorées si une valeur moyenne par espèce est utilisée. Cependant, ces estimations à long terme ont été rarement évaluées au moyen d'enquêtes détaillées.

La présente étude met à disposition une évaluation de la moyenne des accroissements annuels de ces trois espèces forestières sur la base des mesures de cernes de croissance de 41 rondelles de bois. Pendant toute la durée de vie de chaque individu, la moyenne de l'accroissement diamétrique de ces trois espèces est respectivement de: 0,63 cm.an⁻¹ chez *E. cylindricum* ; 0,73 cm.an⁻¹ chez *E. suaveolens* et 1,06 cm.an⁻¹ chez *T. scleroxylon* (Annexe 1).

Les accroissements annuels moyens légaux pour ces espèces au Cameroun sont de : 0,5 cm.an⁻¹ pour *E. cylindricum* ; 0,4 cm.an⁻¹ pour *E. suaveolens* et 0,9 cm.an⁻¹ pour *T. scleroxylon* (Anonyme, 2001a). Les écarts ont été constatés entre les taux d'accroissement fixés (légaux) et les valeurs réelles calculées pour chacune de ces trois espèces.

E. cylindricum présente un taux d'accroissement supérieur à celui fixé (126 %), compte tenu du fait qu'une seule rondelle a un diamètre supérieur ou égal au DME (100 cm), les risques de sous-estimation de la valeur de ce taux d'accroissement sont réels. *E. suaveolens* présente un taux d'accroissement supérieur à celui fixé (182 %). Presque toutes les rondelles de cette espèce avaient un diamètre supérieur ou égal au DME (50 cm), ce qui a pour effet de montrer

que le taux fixé est sous-estimé pour cette espèce. *T. scleroxylon* présente aussi un taux supérieur de 117 % au taux fixé légalement. Le taux obtenu pour *T. scleroxylon* est sous-estimé, car les grosses rondelles de bois et les rondelles ayant un double cœur n'ont pas été pris en compte.

Les biais peuvent exister, car la plupart des très grandes rondelles récoltées sur les sites d'exploitation se sont fragmentées et le transport des autres grandes rondelles n'était pas facile. Les variations entre les taux d'accroissement légaux et ceux estimés peuvent entraîner la sous-/sur-exploitation de ces espèces.

Les taux d'accroissement obtenus ici sont comparables à ceux des précédentes études sur les mêmes espèces dans d'autres sites d'études pour *T. scleroxylon* (Détienne *et al.*, 1998 ; Detienne & Mariaux, 1976 ; Jardin, 1995 ; Ligot *et al.*, 2019 ; Worbes *et al.*, 2003), pour *E. suaveolens* (Fétéké *et al.*, 2015, 2016) et *E. cylindricum* (Détienne *et al.*, op. cit. ; Detienne et Mariaux, op. cit. ; Nzogang, 2009 ; Worbes *et al.*, op. cit.).

Dans l'optique de réduire la surexploitation et de respecter les taux d'accroissement lents, les DMEs doivent considérer les modèles de croissances ontogénétiques et leurs mesures doivent être in situ à cause des spécificités locales des sites (Therrell *et al.*, 2007 ; Schöngart *et al.*, 2007).

Les informations similaires sur l'accroissement de la surface terrière pour ces espèces ne sont pas disponibles dans la littérature. Néanmoins, dans cette région (Est-Cameroun), il existe des informations entre l'accroissement de la surface terrière et la concentration de CO₂ de ces espèces (Battipaglia *et al.*, 2015).

III.2.2. Variation radiale de la densité spécifique du bois

Sur la base des analyses menées sur les rondelles de bois de ces neuf espèces, les résultats montrent qu'au sein des individus, la variation radiale est mineure de la moelle à l'écorce ; tandis qu'entre les espèces, la variation radiale de la densité du bois est majeure ou grande.

Ces résultats sont en accord avec les observations antérieures dans différentes parties du monde (Parolin, 2002 ; Woodcock et Sheir, 2002 ; Nock *et al.*, 2009 ; Onada *et al.*, 2010 ; Hietz *et al.*, 2013 ; Osazuwa-Peters *et al.*, 2014 ; Bastin *et al.*, 2015 ; Plourde *et al.*, 2015 ; Lehnebach *et al.*, 2019) et globalement parmi les espèces forestières tropicales (Zanne

et *al.*, 2009). Fait important, les valeurs de densité de bois comprises entre 0,44 et 0,81 g.cm⁻³ de cette étude se situent dans la fourchette {0,11-1,39 g.cm⁻³} comme signalée pour 2 456 espèces forestières tropicales (Chave *et al.*, 2006). Les différences de densité de bois entre cette étude et d'autres études peuvent être dues à des aspects de l'environnement de croissance (facteurs biotiques et abiotiques).

En particulier, l'observation des variations de densité de bois de l'écorce à la moelle a permis de distinguer trois types qualitatifs de schémas radiaux (type 1 ; type 2 et type 3). Ces résultats confirment l'effet du duramen sur les variations radiales de la densité déjà soupçonnées (Parolin, 2002 ; Hietz *et al.*, 2013) et contrastent avec la plupart des études sur les variations radiales de la densité du bois (Parolin, 2002; Woodcock et Sheir, 2002 ; Nock *et al.*, 2009 ; Hietz *et al.*, 2013 ; Osazuwa-Peters *et al.*, 2014 ; Plourde *et al.*, 2015), qui ont signalé des gradients négatifs et positifs. Nous présumons que cette différence est principalement attribuable au fait que plusieurs auteurs n'ont pas pris en compte la présence de duramen (Parolin, 2002 ; Hietz *et al.*, 2013).

Les profils de densité du bois avec une tendance décroissante de l'écorce à la moelle et une faible densité du bois ne sont pas systématiques pour les espèces héliophiles pionnières et héliophiles non pionnières. Par contre, ces résultats démontrent que l'espèce héliophile pionnière *E. suaveolens* présente la valeur de densité du bois la plus élevée, la seconde valeur la plus élevée de densité du bois étant celle de l'espèce héliophile non pionnière *C. gabunensis*, et la valeur la plus faible étant pour l'espèce héliophile pionnière *T. sceroxylon*.

Pour les neuf espèces forestières étudiées, cette affirmation est vraie pour le type 2. À l'opposé, les espèces semi-tolérantes à l'ombre présentent systématiquement des valeurs de densité de bois élevées. Dans la présente étude, les espèces tolérantes à l'ombre n'étaient pas disponibles. Mais Chao *et al.* (2008) et King *et al.* (2006) ont formulé l'hypothèse selon laquelle les espèces à croissance lente produisent un bois dense et sont semi-tolérantes à l'ombre, en particulier durant les stades juvéniles de leur vie.

D'autres études ont également indiqué que les espèces tolérantes à l'ombre ont tendance à avoir une densité de bois beaucoup plus élevée que les espèces pionnières (King *et al.*, 2006 ; Ramanantoandro *et al.*, 2016). Une des explications est le fait que ces espèces pionnières produisent un bois de faible densité et grandissent plus vite que les espèces voisines, acquérant ainsi plus de ressources (lumière) (Woodcock et Shier, 2002).

Les observations de ces six espèces héliophiles non pionnières étaient peu susceptibles de persister dans les forêts anciennes, ce qui corrobore l'hypothèse selon laquelle les espèces exigeantes en lumière présentent des densités du bois décroissantes, de l'écorce à la moelle (Nock *et al.*, 2009 ; Wiemann et Williamson, 1988).

Le type 1 (*A. bipendensis*) présente une tendance croissante de la densité du bois de l'écorce à la moelle. Ces observations ont été confirmées par Woodcock & Shier, (2002), qui ont souligné le fait que l'augmentation de la densité du bois de l'écorce à la moelle est souvent attribuée à l'exposition accrue à la lumière et à l'amélioration des conditions de croissance aux stades ultérieurs. Avec un accès possible à la canopée pour certaines espèces forestières durant l'ontogenèse (Brienen & Zuidema, 2006b). Ceci confirme que le caractère phénologique d'une espèce peut varier en fonction du site (Hawthorne, 1995) et ce statut doit donc être attribué avec beaucoup de précaution. Ces résultats mettent en évidence la relation significative entre la densité du bois et le caractère phénologique (abscission des feuilles) ; et soutiennent la notion d'un spectre économique global du bois (Chave *et al.*, 2009). Galvão *et al.* (2021) ont aussi démontré l'importance de la densité du bois dans la phénologie des arbres.

Il est clair que les espèces à feuilles persistantes investissent dans un bois plus dense. La production de ce bois plus dense induit la difficulté de détection des limites des cernes de croissance sur des échantillons de bois de ces espèces. Et ces espèces à feuilles persistantes croissent toute l'année, même pendant les périodes de sécheresse.

Les neuf espèces forestières étudiées sont à feuilles caduques, et il n'existe pas de différence significative entre elles (décidues et semi-décidues). Sur ces neuf espèces, seulement deux, en l'occurrence *C. gabunensis* et *P. soyauxii* sont semi-décidues, avec la seconde plus grande densité de bois pour *C. gabunensis*: $0,79 \pm 0,14 \text{ g.cm}^{-3}$. Les sept autres espèces forestières sont décidues avec la plus grande densité de bois pour *E. suaveolens* : $0,81 \pm 0,03 \text{ g.cm}^{-3}$; et la plus faible densité de bois pour *T. scleroxylon*: $0,44 \pm 0,07 \text{ g.cm}^{-3}$. À la lumière de ces exceptions et de ces résultats, il ressort clairement que les espèces semi-décidues présentent des bois plus denses que les espèces décidues.

Ces résultats à humidité 8 % peuvent être comparables à ceux des précédentes études sur la densité du bois à humidité 12 % (Sallenave, 1955 ; 1964 ; 1971 ; Zanne *et al.*, 2009 ; Fayolle *et al.*, 2013). La densité du bois de *A. bipendensis* de cette étude est de 83 % inférieure

à celle obtenue par Sallenave (1964 ; 1971), de 96 % inférieure à celle obtenue par Zanne *et al.* (2009), et de 106 % supérieure à celle de Fayolle *et al.* (op. cit.).

Pour *C. gabunensis*, cette valeur est de 94 % inférieure à celle de Sallenave (1955) et est égale à la valeur obtenue par Zanne *et al.* (op. cit.). Chez *E. cylindricum*, cette valeur est égale à la valeur obtenue par Sallenave (1955), de 113 % supérieure à celle de Fayolle *et al.* (op. cit.), et de 121 % supérieure à celle de Zanne *et al.* (op. cit.). Pour *E. utile*, la valeur obtenue est de 80 % inférieure à celle de Sallenave (1955), de 91 % inférieure à celle de Sallenave (1964), et de 101 % supérieure à celle de Zanne *et al.* (op. cit.).

La valeur de la densité du bois d'*E. suaveolens* est de 102 % supérieure à celle de Sallenave (1971), de 82 % inférieure à la valeur de Fayolle *et al.* (op. cit.) et de 105 % supérieure à la valeur de Zanne *et al.* (op. cit.). Chez *M. altissima* la valeur de la densité du bois est de 106 % supérieure à celle de Sallenave (1964), de 112 % supérieure à la valeur de Zanne *et al.* (op. cit.), et de 85 % inférieure à celle de Fayolle *et al.* (op. cit.).

Pour *M. excelsa*, la valeur de la densité est de 103 % supérieure à celle de Sallenave (1964) et de 112 % supérieure à la valeur de Zanne *et al.* (op. cit.). Chez *P. soyauxii* la valeur de densité est de 95 % inférieure à celle de Sallenave (1964) et de 97 % inférieure à celle de Zanne *et al.* (op. cit.). Enfin, pour *T. scleroxylon* la valeur de densité est supérieure de 118 % à celle de Sallenave (1955) et respectivement supérieure de 125 et 133 % à celle de Fayolle *et al.* (op. cit.) et (Zanne *et al.*, op. cit.).

Ces résultats peuvent être comparables à ceux de Maniatis *et al.* (2011) à humidité 8 %. Chez *E. cylindricum* la valeur de densité est de 87 % inférieure à celle de Maniatis *et al.* (op. cit.). Chez *E. utile* la valeur de densité est de 107 % supérieure à celle de Maniatis *et al.* (op. cit.). Chez *M. excelsa* la valeur de densité est de 87 % inférieure à celle de Maniatis *et al.* (op. cit.) et Chez *P. soyauxii* la valeur de densité est de 112 % supérieure de Maniatis *et al.* (op. cit.).

L'effet de ce changement est principalement dû à des facteurs anatomiques ou environnementaux qui sont inconnus. La variation ontogénétique de la densité spécifique peut permettre aux arbres d'ajuster leur croissance et leur adaptation aux conditions changeantes, en fonction de la disponibilité des ressources et du renforcement de la concurrence locale (Lachenbruch *et al.*, 2011).

En plus des variations de la densité du bois, les caractéristiques du duramen sont liées à plusieurs facteurs : l'âge de l'arbre, l'altitude, le compartiment sur lequel l'échantillon a été mesuré à l'intérieur de l'arbre (Williamson, 1984). De plus, il existe une différence entre les espèces à croissance rapide et les espèces à croissance lente. Les espèces à croissance rapide sont caractérisées par des tissus conducteurs de faible densité, et les espèces à croissance lente ont des densités plus élevées (Wright *et al.*, 2003 ; Muller-Landau, 2004).

III.2.3. Relation hauteur totale et diamètre des arbres

Le modèle proposé pour chacune de ces trois espèces peut être utilisé pour prédire la hauteur totale de chaque individu de sa population à partir seulement de la mesure du diamètre accessible en forêt tropicale. En zone de forêt dense humide semi-décidue, pour ces trois espèces étudiées, la relation hauteur-diamètre suit un modèle linéaire. Ces résultats sont en accord avec ceux des différents auteurs qui ont travaillé sur la relation hauteur-diamètre, que ce soit dans les plantations forestières monospécifiques, monostrates (Fortin *et al.*, 2009 ; Sharma & Zhang, 2004 ; Robinson et Wykoff, 2011 ; Huang *et al.*, 1992 ; Sharma et Parton, 2007 ; Trincado *et al.*, 2007 ; Kebede et Soromessa, 2018 ; Santiago-García *et al.*, 2020 ; Baumeister, 2017 ; Sharma et Breidenbach, 2015) ou dans des forêts naturelles plurispécifiques et multi-strates (Mugasha *et al.*, 2013 ; Temesgen *et al.*, 2014 ; Tsega *et al.*, 2018).

Ce site est sous l'influence des paramètres du climat et du sol (Anonyme, 2012a; Jones *et al.*, 2013). La différence des valeurs de R^2 entre les trois espèces peut s'expliquer par la méthode de collecte des données (Colas, 2016 ; 2020) et/ou les paramètres du sol (Fortin *et al.*, 2009). L'échantillonnage pour ces trois espèces contenait en plus des individus dont le diamètre \geq DME (*E. cylindricum*: 100 cm ; *E. suaveolens*: 50 cm et *T. scleroxylon*: 80 cm) quelques jeunes individus dont le diamètre $<$ DME. De plus, cette faible corrélation peut aussi s'expliquer dans cette zone de forêt dense semi-décidue par la compétition des arbres à la lumière, d'où une croissance en hauteur assez rapide.

Alors que dans plusieurs travaux, l'influence des paramètres du site (abiotiques et biotiques) sur la relation hauteur-diamètre, comme dans les études menées par Sharma & Parton (2007) ; Trincado *et al.* (2007) ; Fortin *et al.* (2009) ; Yang & Huang (2014), peut mieux expliquer ces différences. Dans ces forêts denses humides semi-décidues, le R^2 seul ne peut pas justifier le modèle de régression linéaire de la relation hauteur-diamètre ; l'ajout des analyses statistiques peut mieux justifier ces modèles (Colas, 2016 ; 2020). Avec les données des différents inventaires forestiers disponibles, il est possible d'estimer les hauteurs totales sur l'AAC 1-3 et par extension sur toute la concession 1058 (UFA 10 052).

En outre, cette approche méthodologique peut être appliquée sur toutes les surfaces forestières où les données d'inventaires ne tiennent compte que du diamètre à $\pm 1,30$ m du sol, en prenant en compte les arbres ayant au moins 10 cm de diamètre.

De plus, très souvent en ayant les diamètres avec l'aide du logiciel TIAMA (Anonyme, 1999), ces équations de régressions peuvent être mises à contribution pour l'estimation des hauteurs par espèces.

Celles-ci sont généralement fonction de la première grosse branche et ne représentent pas la réalité sur le terrain. Pour avoir un R^2 significatif (proche de 1), il serait nécessaire d'avoir un grand échantillonnage d'arbres et de toutes classes de diamètres. Avec les équations de régression linéaire spécifiques à chacune de ces trois espèces couplées aux données d'inventaires ou en mesurant directement ce paramètre (diamètre), l'estimation de la hauteur totale de chaque arbre (individu) pour ces trois espèces se fera aisément. Les hauteurs totales étant difficiles d'accès dans les forêts tropicales humides, la connaissance de ces dernières permettra de ce fait de mieux estimer la biomasse épigée et par ricochet les stocks de carbone pour chacune de ces espèces dans les différentes concessions forestières. Le même principe appliqué à toutes ces concessions forestières ou à d'autres titres forestiers permettra d'estimer de manière exacte le carbone séquestré dans toutes ces forêts.

CHAPITRE IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

V.1. CONCLUSION

Au terme de cette étude dont l'objectif général était d'étudier la biologie et la technologie du bois de quelques espèces forestières exploitées au Cameroun, une description macro-/microscopique des limites de cernes de croissance, l'estimation des âges, la détermination des accroissements annuels, de la variation radiale de la densité du bois ainsi que des corrélations diamètres hauteurs des arbres ont été effectuées.

Les limites de cernes de croissance ont été caractérisées sur le plan macro-/microscopique et les anomalies des limites de cernes ont été identifiées. Grâce à ces dernières, les âges et les accroissements annuels des arbres de ces espèces forestières ont été obtenus.

La variation radiale de ces espèces forestières a montré que la densité du bois varie plus entre les différentes espèces qu'au sein de la même espèce. Pour une même espèce, cette densité varie de la moelle à l'écorce.

Les corrélations diamètre-hauteur montrent que pour toutes ces espèces forestières, à chaque fois que le diamètre gros bout augmente d'1 m, la hauteur augmente au moins de 10 m.

Ces résultats constituent une base de données importante pour la gestion durable des forêts de production dans le bassin du Congo en particulier. Les plans d'aménagement recommandent de faire des travaux dans celles-ci pour revoir les paramètres d'aménagement (DMEs, AAMs, tarifs de cubage, entre autres). Ils représentent un outil de travail important pour les acteurs de GDF.

La connaissance des taux d'accroissement et des âges des arbres des différentes espèces forestières est très importante pour les gestionnaires forestiers. L'analyse des cernes de croissance est certes un exercice fastidieux et chronophage, mais elle permet d'avoir des informations sur toute la durée de vie des arbres.

La mesure des hauteurs des arbres est un exercice fastidieux, qui est encore plus difficile dans les forêts tropicales naturelles et complexes que dans les plantations forestières uniformes. De plus, les mesures de hauteur prennent davantage de temps que les mesures de diamètres, qui, elles, sont facilement accessibles. L'analyse des cernes ne fournit évidemment que des taux de croissance des arbres sur pied ou des arbres abattus. La combinaison de ces taux de croissance avec des données de survie et de régénération des parcelles permanentes (PPs) dans ces forêts permettrait des simulations réalistes de la croissance de ces arbres. De plus, une telle analyse permettrait une évaluation plus précise des conséquences de l'exploitation forestière.

La présente étude pourrait constituer l'ébauche d'une meilleure base d'informations pour la GDF en Afrique Centrale.

Par conséquent, le modèle proposé pour chacune de ces trois espèces peut être utilisé pour prédire la hauteur totale de chaque individu dans sa population à partir de la mesure du diamètre accessible. L'analyse des cernes de croissance ainsi que l'observation à long terme sur des parcelles permanentes (PPs) offrent aux scientifiques et aux forestiers une approche précieuse pour augmenter un aperçu des modèles de croissance des arbres et faciliter le développement de l'exploitation forestière durable. Ces détails uniques et spécifiques à ce site ne sont pas inclus dans les bases de données mondiales qui sont actuellement utilisées, ce qui pourrait donner lieu à des évaluations des attributs fonctionnels des espèces et à des estimations de la biomasse qui sont inadéquates et erronées.

Particulièrement, la présente étude recommande une extrême prudence lors de l'exécution de méta-analyses reposant sur des bases de données, pour éviter les erreurs causées par une collecte et un stockage de données insuffisants. Les estimations régionales de biomasse seront améliorées, et la compréhension des stratégies fonctionnelles et du comportement de succession des espèces tropicales sera améliorée par de futures études, documentant ainsi les tendances de la variation de la densité du bois dans de nouveaux sites et types de forêts.

V.2. PERSPECTIVES

Afin de consolider la présente étude et de faire des projections fiables pour la gestion durable de ces forêts, il serait opportun de:

- se focaliser sur les espèces forestières les plus exploitées produisant des cernes de croissance distincts, de le faire avec les grandes rondelles de bois;
- coupler la variation radiale à la variation longitudinale de la densité du bois, en prenant en compte les études phénologiques sur une longue période et les études anatomiques au sein d'une espèce et en utilisant un grand nombre d'échantillons comprenant plusieurs individus de la même espèce et de différentes espèces;
- faire une étude plus approfondie sur l'influence des paramètres biotiques () et abiotiques (température, humidité, précipitation, pH du sol, ensoleillement entre autres) du site d'étude sur la relation hauteur-diamètre, ce qui expliquerait mieux les différences obtenues;
- coupler l'analyse des cernes de croissance à une étude phénologique sur une période d'au moins 5 ans, pour mieux comprendre le processus de formation des cernes de croissance ;

- faire une étude dendroclimatique sur les 250 dernières années, en s'appuyant sur les données météorologiques fiables de "KMNI : Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut", "NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration", OMM: Organisation météorologique mondiale entre autres ;
- améliorer les informations post-exploitation, en se focalisant sur la régénération naturelle (germination et taux de mortalité des graines) et sa relation avec les facteurs environnementaux ;
- finaliser les mesures anatomiques (vaisseaux, fibre et parenchyme...);
- participer à la création de l'Association Africaine de Dendrochronologiste et de l'Association Africaine des Anatonistes ;
- participer à la mise en place d'un xylarium et créer un laboratoire de dendrochronologie au Cameroun.

BIBLIOGRAPHIE

- Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., Malingreau, J.P. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297, 999-1002. doi: 10.1126/science.1070656.
- Adler, D. 1989. Natural forest increment, growth and yield. *In*: Ghana forest inventory project seminar proceedings 29 - 3 march 1989 Wong J.L.G. & Dunn R.M (ed.), Overseas Development Administration (UK)/Ghana Forestry Department pp 47-52.
- Alfonso, A.V., Baas, P., Carlquist, S., Chimelo, P.J., Coradin, R.T.V., Détienne, P., Gasson, E.P., Grosser, D., Ilic, J., Kuroda, K., Miller, B.R., Ogata, K., Richter, G.H., Ter Welle H.J.B., Wheeler, E. IAWA Committee. 1989. IAWA List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, new series. 10, 219-332
- Amobi, C.C. 1973. Periodicity of wood formation in some trees of lowland rainforest in Nigeria. *Annals of Botany*, 37, 211-218.
- Amobi, C.C. 1974. Periodicity of wood formation in some trees of lowland rainforest in Nigeria. *Annals of Botany*, 38, 931-937.
- Amougou, N. Y. A. 2011. Séquestration du carbone dans la forêt communautaire de la COPAL. Master II Botanique-Ecologie, Université de Yaoundé I, 61 p.
- Amougou, A., De Weerd, J., Mbolo, M., Beeckman, H. 2013. Densité du bois et dendrochronologie de quelques espèces forestières tropicales au Cameroun. Poster *In* : Symposium Paul Divigneaud vers une synthèse écologique. Académie Royale de Sciences Bruxelles-Belgique
- Anonyme 1975a. Etudes préalables à l'aménagement de la forêt dense - 3ème partie : études d'accroissement. M.T.E.F.C.P. (République Centrafricaine) 105p.
- Anonyme, 1980a. FAO-Forest volume estimation and yield prediction. Vol.1 Volume estimation 108p.
- Anonyme, 1980b. FAO-Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers avec référence particulière aux forêts tropicales. Vol 2 Étude et prévision de la production 239p.
- Anonyme, 1981. Loi N°81/13 du 27 novembre 1981 Portant régime des forêts de la faune et de la pêche 40p.
- Anonyme, 1983. Décret N°83/169 avril 1983 Fixant le régime des forêts
- Anonyme, 1991. Office National de Développement Forestier - Ministère de l'Agriculture - Normes d'inventaire d'aménagement et de préinvestissement Juin 1991 70p.
- Anonyme, 1992. Office National de Développement Forestier - Ministère de l'Agriculture - Normes de reconnaissance des ressources forestières Mars 1992 89p.
- Anonyme, 1994a. Loi N° 94/01 du 20 janvier 1994. Portant régime des forêts, de la faune et de la pêche. 24p.
- Anonyme, 1994b. Décret n°94/436/PM du 23 août 1994 Fixant les modalités d'application du régime des forêts. 29p.
- Anonyme, 1995a. Décret d'application N° 95/531/PM du 23 août 1995. Fixant les modalités d'application du régime des forêts. 30p.
- Anonyme, 1995b. Décret n 95-466-PM-du 20 juillet 1995 fixant les modalités d'application du régime de la faune 13p.
- Anonyme, 1995c. Décret N° 95-678-PM du 18 décembre 1995 Instituant un cadre indicatif d'utilisation des terres en zone forestière méridionale 1p.
- Anonyme, 1996. Loi n° 96/12 du 5 août 1996 Portant loi-cadre relative à la gestion de l'environnement 12p.
- Anonyme, 1998a. Décision n° 0108/D/MINEF/CAB du 9 février 1998 Portant application des normes d'intervention en milieu forestier en République du Cameroun 1p.

- Anonyme, 1998b. ANNEXE à la décision n° 0108/D/MINEF/CAB du 9 février 1998 Portant application des normes d'intervention en milieu forestier en République du Cameroun 6p.
- Anonyme, 1999. Logiciel TIAMA, Traitement des Inventaires Appliqué à la Modélisation des Aménagements, Manuel d'utilisation, Yaoundé, Cameroun.
- Anonyme, 2000. Loi N° 16-2000 du 20 novembre 2000. Portant code forestier en République du Congo. 18p.
- Anonyme, 2000. Décret N° 2000/092/PM du 27 mars 2000 modifiant le décret n° 95/531/PM du 23 août 1995 fixant les modalités d'application du régime des forêts 1p.
- Anonyme, 2001a. Arrêté n° 0222/A/ MINEF du 25 mai 2002 et ses fiches techniques, fixant les procédures d'élaboration, d'approbation, de suivi et de contrôle de la mise en œuvre des plans d'aménagement des forêts de production du domaine permanent. Yaoundé, Cameroun 100pp.
- Anonyme, 2001b. Décret n°2001/143/PM du 25 avril 2001 modifiant certaines dispositions du Décret n° 95/531/PM du 23 août 1995 Fixant les modalités d'application du régime des forêts. 1p.
- Anonyme, 2001c. Arrêté N° 0872/MINEF du 23 octobre 2001 portant classification des essences forestières 2p.
- Anonyme, 2002a. Loi N° 011/2002 du 29 août 2002. Portant code forestier en République Démocratique du Congo. 25p.
- Anonyme, 2002b. Loi N° 2002-437 du 31 décembre 2002. Fixant les conditions de gestion et d'utilisation des forêts en République du Congo. 45p.
- Anonyme, 2005a. Décret n° 2005/0577/PM du 23 février 2005 fixant les modalités de réalisation des études d'impact environnemental 5p.
- Anonyme, 2005b. Arrêté n° 0070/MINEP du 22 avril 2005 fixant les différentes catégories d'opérations dont la réalisation est soumise à une étude d'impact environnemental
- Anonyme, 2006a. Arrêté n°0221/MINFOF du 12 mai 2006 fixant les normes d'inventaire des espèces fauniques en zone de forêt camerounaise
- Anonyme, 2006b. Arrêté n°0648/MINFOF du 18 décembre 2006 fixant la liste des animaux des classes de protection A, B et C
- Anonyme, 2007a. Arrêté n° 00001/MINEP du 03 février 2007 définissant le contenu général des termes de référence des études d'impact environnemental.
- Anonyme, 2007b. Arrêté n° 00004/MINEP du 03 juillet 2007 fixant les conditions d'agrément des bureaux d'études à la réalisation des études d'impact et audits environnementaux.
- Anonyme, 2008. Loi N° 08.022 du 17 octobre 2008. Portant code forestier de la République Centrafricaine. 26p.
- Anonyme 2008. Timbers 1. 7(1) PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands/CTA, Wageningen – Netherlands.785pp. ISBN 978-90-5782-211-7 / 978-3-8236-1543-9.
- Anonyme, 2009. Société forestière Industrielle de la Lekoundjé- Plan d'aménagement de l'UFA 10 025-Concession 1070, Douala-Cameroun. SFIL. 142p.
- Anonyme, 2010a. Loi N° 2010-74 du 02 février 2010. portant organisation du ministère du développement durable, de l'économie forestière et de l'environnement en République du Congo. 16p.
- Anonyme, 2010b. Accord de partenariat volontaire entre le Cameroun et l'Union Européenne. Note d'information 9p.
- Anonyme, 2011a. American Society for Testing and Materials D2395-07ae1 Standard test methods for specific gravity off wood-based materials. <http://www.astm.org/Standards/D2395.htm>.
- Anonyme 2011b. CIRAD Tropix 7.0: Technogical Characteristics of 245 Species Tropical Wood Species.

- Anonyme, 2012a. Société Forestière Industrielle de la Lekoundjé - Plan d'aménagement Révisé de l'UFA 10 052 - Concession n°1058, Douala - Cameroun. SFIL. 126p.
- Anonyme 2012b. Timbers 1. 7(1) PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands/CTA, Wageningen – Netherlands.804p
- Anonyme, 2013a. Décret n°2013/017 PM du Février 2013 Fixant les modalités de réalisation des études d'impact environnemental et social. 9p.
- Anonyme, 2013b. Décret n°2013/0172/PM du 14 Février 2013 Fixant les modalités de réalisation de l'audit environnemental et social. 5p.
- Anonyme, 2016a. Décision n°00131/D/MINEPDED/CAB du 26 août 2016 fixant les modalités de de délivrance des attestions de respect des obligations environnementales dans le cadre du régime d'autorisation FLEGT
- Anonyme, 2016b. Arrêté n°00001/MINEPDED du 08 février 2016 fixant catégories d'opération dont la réalisation est soumise à une évaluation environnementale stratégique ou EIES
- Anonyme, 2016c. Manuel de procédure d'obtention de l'attestation du respect des obligations environnementales et guide associé
- Anonyme, 2018. FRMi. Développement intégré et durable de la filière bois dans le Bassin du Congo. Rapport stratégique régional. Montpellier.
- Anonyme, 2019a. Décision n°0536/D/MINFOF/SETAT/SG/DF/SDIAF du 23 juillet 2019 rendant exécutoires les directives d'inventaires d'aménagement et de préinvestissement intégrant des spécificités de biodiversité pour les forêts de production du domaine forestier permanent du Cameroun 75p.
- Anonyme, 2019b. Décision n°0534/D/MINFOF/SETAT/SG/DF/SDIAF du 23 juillet 2019 rendant exécutoire le protocole harmonisé de suivi de la dynamique des peuplements forestiers dans les forêts de production du domaine forestier permanent au Cameroun 14p.
- Anonyme, 2020a. Loi N° 33-2020 du 08 juillet 2020. Portant code forestier en République du Congo. 25p.
- Anonyme, 2020b. Norme nationale FSC pour la certification des forêts de la République du Cameroun. 141p. <https://www.fsc.org/en/document-centre/documents/resource/464>.
- Anonyme, 2024. Loi N° 2024/008 du 24 juillet 2024. Portant régime des forêts, de la faune et de la pêche. 53p.
- Asner, G.P., Rudel, T.K., Aide, T.M., Defries, R., Emerson, R. 2009. A contemporary assessment of change in humid tropical forests. *Conservation Biology*, 23, 1386-1395. doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01333.x.
- Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, Oxford, U.K, 504p, ISBN13: 978-0-08-006658-5.
- Bass, P., Vetter, R.E. (eds) 1989. Growth rings in tropical trees. *IAWA Bulletin n.s.*, 10 (2) 95-174.
- Bastin, J.-F., Fayolle, A., Tarelkin, Y., Van den Bulcke, J., de Haulleville, T., Mortier, F., Beeckman, H., Van Acker, J., Serckx, A., Bogaert, J., De Cannière, C. 2015. Wood specific gravity variations and biomass of central African tree species: the Simple choice of the outer wood. *Journal PLOS ONE*. doi:10.1371/journal.pone.0142146.
- Battipaglia, G., Zalloni, E., Castaldi, S., Marzaioli, F., Valentini, R. 2015. Long Tree-Ring Chronologies Provide Evidence of Recent Tree Growth Decrease in a Central African Tropical Forest. *Journal. PLOS ONE* 1-21. doi:10.1371/0120962.
- Bauch, J., Dünish, O. 2000. Comparison of growth dynamics and wood characteristics of plantation-growth and primary forest *Carapa guianensis* in Central Amazonia *IAWA Journal*, 21 (3), 321-333.

- Baumeister, M. 2017. La dendrométrie ou les mathématiques du forestier. Arbres et forêts, Zimmer, L'Expertise Forestière. <https://www.zimmersa.com/blog-forestier/la-dendrometrie-ou-les-mathematiques-du-forestier-n75> Calama, R., & M.
- Bayol, N., Demarquez, B., de Wasseige, C., Eba'a Atyi, R., Fisher, J.-F., Nasi, R., Pasquier, A., Rossi, X., Steil, M., Vivien, C. 2012. Forest management and the timber sector in Central Africa, In: de Wasseige, C., de Marcken, P., Bayol, N., Hiol Hiol, F., Mayaux, Ph., Desclée, B., Nasi, R., Billand, A., Defourny, P., Eba'a Atyi, R. (eds.), The Forests of the Congo Basin – State of the Forest 2010. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 276p. <http://dx.doi.org/10.2788/47210>. ISBN : 978-92-79-22716-5.
- Beeckman, H. 2016. Wood anatomy and trait-based ecology. *IAWA Journal*. 37, 127–151. doi : 10.1163/22941932-20160127.
- Bedel, F., Durrieu de Madron, L., Dupuy, B. 1997. - Dynamique de croissance dans des peuplements exploités et éclaircis de forêt dense africaine : le dispositif de M'Baïki en République Centrafricaine (1982 - 1995). Projet FORAFRI 60 p
- Beltran Guirrez, L.A., Valencia Ramos, G.M. 2013. Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la Selva Central, Perú (Anatomic characterisation of growth ring in 80 potential species for dendrochronological studies in the Central Forest Perú). *Revista de Biología Tropical*, 61, 1025-1037.
- Bénédet, F., Doucet, J.-L., Fayolle, A., Gillet, J.-F. Gourlet-Fleury, S., Vincke, D. 2019, "CoForTraits, base de données d'information sur les traits des espèces d'arbres africaines", doi : 10.18167/DVN1/Y2BIZK, CIRAD Dataverse, V1. [Consulté le 6 novembre 2020].
- Blaser, J., Sarre, A., Poore, D., Johnson, S. 2011. Status of Tropical Forest Management 2011, Yokohama, Japan, International Tropical Timber Organization. Yokohama, Japan
- Bonan, G.B. 2008. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320, 1444-1449.
- Borchert, R. 1983. Phenology and Control of Flowering in Tropical Trees. *Biotropica*, 15 (2), 81-89.
- Borchert, R. 1994. Water storage in soil or tree stems determines phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, 75, 1437–1449.
- Borchert, R. 1999. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. *IAWA Journal*, 20, 239-247.
- Borchert, R. (2003) Environmental control of vegetative phenology in tropical dry forest trees. *Physiological plant ecology* (W. Larcher), pp. 337–340. Springer, Berlin.
- Borchet, R., Calle, Z., Strahler, H.A., Baertschi, A., Magill, R.E., Broadhead, J.S., Kamau, J., Njoroge, J., Muthuri, C. 2015. Insolation and photoperiodic control of tree development near the equator. *New Phytologist* 205, 7-13. Doi/10.1111/nph.12981.
- Borchet, R., Meyer, S.A., Felger, R.S., Potter-Bolland, L. 2004. Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecology and Biogeography*, 13, 409-425.
- Borchert, R., Renner, S.S., Calle, Z., Navarete. D., Tye, A., Gautier, L., Spichiger, R., von Hildebrand. P. 2005. Photoperiodic induction of synchronous flowering near the equator. *Nature* 433,627–629.
- Borchet, R., Rivera, G., Hagnauer, W. 2002. Modification of Vegetative Phenology in a Tropical Semi-deciduous Forest by Abnormal Drought and Rain. *Biotropica*, (34)1 : 27-39.
- Brienen, R.J.W., Lebrija-Trejos, E., Van Breugel, M., Pérez Gracías, E.A., Bongers, F., Maeve, J.A., Martínez Ramos, M. 2009. The Potential of Tree Rings for the Study of Forest

- Succession in Southern Mexico. *Biotropica*, 41 (2), 186-195. doi:10.1111/j.1744.7429.2008.00462.x
- Brienen, R.J.W., Schongart, J., Zuidema, P.A. 2016. Tree rings in tropics: Insights into ecology and climate sensitivity of tropical trees. In Goldstein, G., Santiago, L.S. (eds.), *Tropical Tree Physiology*, 439-461pp. Springer International Publishing Switzerland Tree Physiology 6. DOI 10.1007/978-3-319-27422-5_20.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P.A. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, 146, 1–12. doi:10.1007/s00442-005-0160-y.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P.A. 2006a. The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest. Ecology and Management*, 226, 256–267. doi: 10.1016/j.foreco.2006.01.038.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P.A. 2006b. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology*, 94, 481–493. doi: 10.1111/j.1365-2745.2005.01080.x.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P.A. 2007. Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield. *Front. Ecol. Environ*, 5 (6), 302 - 306. doi: 10.1890/1540-9295(2007)5[302:RCPTGD]2.0.CO;2.
- Bunn, A., Korpelo, M., Biondi, F., Capello, F., Merian P., Quadean, F., Zang, C. 2017. dplR: Dendrochronology program library in R. R packages version. 1.6.6.
- Calama, R., & Montero, G. 2004. Interregional nonlinear height-diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 150-163. <https://doi.org/10.1139/x03-199>.
- Chao, K.-J., Phillips, O.L., Gloor, E., Monteagudo, A., Torres-Lezama, A., Martínez, R.V. 2008. Growth and wood density predict tree mortality in Amazon forests. *Journal of Ecology* 96, 281–292. doi: 10.1111/j.1365-2745.2007.01343.x.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87–99. doi 10.1007/s00442-005-0100-x.
- Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S., Perez, R. 2004 Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 359, 409–420. doi: 10.1098/rstb.2003.1425.
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S.L., Swenson, N.G. & Zanne, A.E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12, 351–366.
- Chave, J., Muller-Landau, H.C., Baker, T.R., Easdale, T.A., ter Steege, H. & Webb, C.O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. *Ecological Applications*, 16, 2356–2367.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Martinez-Yrizar, A., Mugasha, W.A., Muller-Landau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Pelissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G., Vieilledent, G. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20, 3177-3190. doi:10.1111/gcb.12629.
- Chudnoff M. 1980. Tropical timber of the world. Forest product laboratory/Forest Service/Department of Agriculture, United States. pp 319-538.
- Chuyong, G.B., Condit, R., Kenfack, D., Losso, E.C., Nsanyi Moses, S., Songwe, N.C., et al. 2004. “Korup forest dynamics plot, Cameroon,” in *Tropical Forest Diversity and*

- Dynamism: Findings from a Large-Scale Plot Network*, (eds) E. C. Losos and E. G. Leigh (Chicago, IL: University of Chicago Press), 506–516.
- Clark, D. A. 2007. Detecting tropical forests responses to global climatic and atmospheric change: current challenges and a way forward. *Biotropica*, 39, 4-19.
- Colas, J. 2016. Cinq raisons pour lesquelles votre R-carré peut être trop élevé. <https://blog.minitab.com/en/adventures-in-statistics-2/five-reasons-why-your-r-square-d-can-be-too-high>
- Colas, J. 2020. Analyse de la régression: Comment interpréter R-carré et évaluer l'adéquation de l'ajustement. <https://blog.minitab.com/fr/analyse-de-la-regression-comment-interpreter-le-r-carre-et-evaluer-ladequation-de-lajustement#:~:text=le%20r%2dcarr%c3%a9%20est%20une,multiple%20pour%20la%20r%c3%a9gression%20multiple>
- Coster, C. 1927. Zur anatomie und physiologie der zuwachszone und jahresringbildung in den tropen I. *Ann. Jard. Bot. Buit.*, 37, 49–161.
- Coster, C. 1928. Zur anatomie und physiologie der zuwachszone und jahresringbildung in den tropen II. *Ann. Jard. Bot. Buitenzorg*, 38, 1–118.
- Couralet, C. 2010. Community Dynamics, Growth and Phenology of Tropical Trees in the Rain Forest Reserve of Luki, Democratic Republic of Congo. *PhD thesis*, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Couralet, C., Sass-Klaassen, U., Sterck, F., Bekele, T., Zuidema, P.A. 2005. Combining dendrochronology and matrix modelling in demographic studies: an evaluation for *Juniperus procera* in Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 216, 317-330.
- Dalling, J.W., Flores III, M.R., Heineman, K.D. 2024. Wood nutrients: Underexplored traits with functional and biogeochemical consequences. *New Phytologist*. doi: 10.1111/nph.20193
- Dean, J.S. 1978. Tree-ring dating in Archeology. University of Utah, Miscellaneous Paper Number 24: 129–163.
- De Mil, T., Vannoppen, A., Beeckman, H., Van Acker, J., Van den Bulcke, J. 2016. A field-to-desktop toolchain for X-ray CT densitometry enables tree ring analysis. *Annals of Botany* 117 (7), 1187–1196. doi:10.1093/aob/mcw063. <http://www.dendrochronomics.ugent.be>.
- De Mil, T., Tarelkin, Y., Hahn, S., Hubeau, W., Deklerck, V., Debeir, O., Van Acker, J., De Cannière, C., Beeckman, H., Van den Bulcke, Jan. 2018. Wood density profiles and their corresponding tissue fractions in tropical angiosperm trees. *Forests*. 9 (12) 763, 1-14. doi: 10.3390/f912o763.
- De Ridder, M., Trouet, V., Van Den Bulcke, J., Hubau, W., Van Acker, J., Beeckman, H. 2013a. A tree-ring based comparison of *Terminalia superba* climate-growth relationships in West and Central Africa. *Trees -Structure and Function*. 27, 1225-1238. doi: 10.1007/s00468-013-0871-3.
- De Ridder, M., van den Bulcke, J., van Acker, J., Beeckman, H. 2013b. Tree-ring analysis of an African long-lived pioneer species as a tool for sustainable forest management. *For. Eco. and Management*, 304, 417–426. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.007>
- De Ridder, M. 2013. Tree-ring analysis and stem biomass estimation of limba (*Terminalia superba* Engl. & Diels) in the framework of sustainable forest management Ph.D. dissertation, Ghent University, Ghent, 167 p.
- De Wasseige, C., Devers, D., de Marcken, P., Eba'a Atyi, R., Nasi, R., Mayaux, P. (Eds), 2009. The Forests of the Congo Basin – State of the Forest 2008. Luxembourg: Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-79-13210-0, doi: 10.2788/32259, 411 p.

- Detienne, P. 1988. Apport de l'anatomie des bois à la botanique tropicale. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 135 (3), 7-17. doi: 10.1080/01811789.1988.10826897.
- Détienne, P. 1989. Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. *IAWA Bulletin n.s.*, 10 (2), 123–132.
- Détienne, P. 1995. Growth ring types and occurrence in some French Guianan species. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 243, 65-75.
- Détienne P, Chanson, B. 1996. L'éventail de la densité du bois des feuillus : Comparaison entre différentes régions du monde. *Bois forêts des Tropiques*, CIRAD—Forêt; 19–30.
- Détienne, P., Mariaux, A. 1975. Nature et périodicité des cernes dans le bois de Niangon. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 159, 29-37
- Détienne, P., Mariaux, A. 1976. Nature et périodicité des cernes dans le bois de Samba. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 169, 29–35.
- Détienne, P., Mariaux, A. 1977. Nature et périodicité des cernes dans le bois rouges de méliacées africaines. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 175, 52–61.
- Détienne, P., Oyono, F., Durrieu de Madron L., Demarquez, B., Nasi, R. 1998. L'analyse de cernes : applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense africaine. Cirad-Série Forafri N°15, Montpellier, France. 43p.
- Devall, M.S., Parresol, B.R., Wright, S.J. 1995. Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in central Panama. *IAWA Journal*, 16, 411– 424.
- Douglass, A.E. 1941. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry*, 39 (10), 825-831.
- Duminil, J., Heuertz, M., Doucet, J.-L., Bourland, N., Cruaud, C., Gavory, F., Doumenge, C., Navascués, M., Hardy, O.J. 2010. CpDNA-based species identification and phylogeography: application to African tropical tree species. *Molecular Ecology*, 19 (24), 5469-5483. doi: 10.1111/j.1365-294X.2010.04917.x
- Dünisch, O., Bauch, J., Sack, M., Müller, M. 1999. Growth dynamics in wood formation of plantation growth *Swietenia macrophylla* King and *Carapa guianensis* Aubl. *Mitt.de. Bundesforschungsanstalt für Forest-und Holzwirtschaft*. Hamburg Germany 193, 79-96.
- Dünisch, O., Bauch, J., Gasparotto, L. 2002. Formation of increment zones and intra-annual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis*, and *Cedrela odorata* (Meliaceae). *IAWA J.*, 23, 101–119. doi: 10.1163/22941932-90000292.
- Dünisch, O., Montóia, V.R., Bauch, J. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees-Str. and Fun.*, 17, 244-250.
- Durrieu de Madron, L., Favrichon, V., Dupuy, B., Bar Hen, A., Houde, L., Maitre, H.F. 1997. Croissance et productivité en forêt dense humide : bilan des expérimentations dans le dispositif de Mopri, Côte d'Ivoire (1978-1992). *Projet FORAFRI* 75p.
- Durrieu de Madron, L., Nasi, R., Détienne, P. 2000. Accroissements diamétriques de quelques essences en forêts dense africaine. *Bois et Forêts des Tropiques*. 263, 63-74.
- Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., Mayaux, P. 2008. Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically distributed Landsat extracts. *Remote Sensing of Env.*, 112, 1969-1981.
- Fayolle, A., Doucet, J.L., Gillet, J.F., Bourland, N., Lejeune, P. 2013. Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *For. Eco. and Man.*, 305, 29–37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.036>.
- Fétéké, F., Fayolle, A., Dainou, K., Bourlands, N., Dié, A., Lejeune, P., Doucet, J.L., Beeckman, H. 2016. Variation saisonnière de la croissance diamétrique et phénologique

- foliaire et reproductive de trois espèces ligneuses commerciales d'Afrique centrale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 330 (4), 3-21.
- Fétéké, F., Perin, J., Fayolle, A., Dainou, K., Bourland, N., Kouadio, Y.L., Moneye, S.J.J., Bekono, C.-C., Liboum, M.Y., Doucet, J.-L. 2015. Modéliser la croissance de quatre essences pour améliorer la gestion forestière au Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, 325, 5-20.
- Fichtler, E., Clark, D.A., Worbes, M. 2003. Age and Long-term Growth of trees in an Old-growth Tropical Rain Forest, Based on Analyses of Tree Rings and ¹⁴C. *Biotropica*, 35, 306–317. doi 10.1007/s00468-004-0324-0.
- Fichtler, E., Trouet, V., Beeckman, H., Coppin, P., Worbes, M. 2004. Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia. *Trees*, 18, 442–451. doi 10.1007/s00468-004-0324-0.
- Fortin, M., Bernier, S., Saucier, J.-P., & Labbé, F. 2009. Une relation hauteur-diamètre tenant compte de l'influence de la station et du climat pour 20 espèces commerciales du Québec. In Mémoire de recherche forestière n°153. Direction de la recherche forestière (41 p). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Gouvernement du Québec.
- Fritts, H.C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press. London, United Kingdom. 567 p.
- Gärtner, H., Cherubini, P., Fonti, P., von Arx, G., Schneider, L., Nievergelt, D., Verstege, A., Bast, A., Schweingruber, F.H., Büntgen, U. A. 2015. Technical Perspective in Modern Tree-ring Research - How to Overcome Dendroecological and Wood Anatomical Challenges. *Journal of Visualized Experiments*, 97, e52337, doi:10.3791/52337.
- Galvão FG, Alves de Lima AL, Candeia de Oliveira C, da Silva VF, Rodal MJ.2021. The importance of wood density in determining the phenology of tree species in a coastal rain forest. *Biotropica*. 53,1134–1141. <https://doi.org/10.1111/btp.12954>.
- Gorel, A. 2012. Étude de l'origine des populations d'Ayous (*Triplochiton scleroxylon* K. SCHUM) dans les forêts du sud-est du Cameroun. In Mémoire de Master Bioingénieur en gestion des forêts et des espaces naturels (87 p). Université de Liège-Belgique.
- Gourlay, I.D. 1995. Growth ring characteristics of some African Acacia species. *Journal of Tropical Ecology*. 11, 121-140.
- Groenendijk, P., Bongers, F., Zuidema, P.A. 2017. Using tree-ring data to improve timber-yield projections for African wet tropical forest tree species. *For. Ecol. Manage.* 400: 396-407. doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.054
- Groenendijk, P., Sass-Klaassen, U., Bongers, F., Zuidema, P.A. 2014. Potential of tree-ring analysis in a wet tropical forest: A case study on 22 commercial tree species in Central Africa. *Forest Ecology and Management*, 323, 65-78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.037>.
- Hall, J.B., Bada, S.O. 1979. The Distribution and Ecology of Obeche (*Triplochiton Scleroxylon*). *J. Ecol.* 67(2), 543-564. doi.org/10.2307/2259111.
- Hall, J.S., Harris, D.J., Medjibe, V., Ashton, P.M.S. 2003. The effects of selective logging on forest structure and tree species composition in a Central African forest: implications for management of conservation areas. *Forest Ecology and Management*. 183, 249–264.
- Hall, J.S., McKenna, J.J., Ashton, P.M.S., Gregoire, T.G. 2004. Habitat characterizations underestimate the role of edaphic factors controlling the distribution of *Entandrophragma*. *Ecology*, 85 (8),2171-2183. doi.org/10.1890/03-0043.
- Hallé, F., Martin R. 1968. Étude de la croissance rythmique chez l'hévéa, *Adansonia*, Serie 2, 8 475 -503.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4 (1), 9 p. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.

- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, A.S., Tyukavina, A., et al. 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342, 850-853. doi: 10.1126/science.1244693.
- Hawthorne, W.D. 1995 Ecological profiles of Ghanaian forest trees. Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford, Oxford, United Kingdom.
- Hawthorne WD, Jongkind C. 2006. Guide to the Woody Plants of Western Africa. Royal Botanic Gardens, Kew, U.K.
- Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M., Saint-André, L. 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260 (8), 1375-1388. doi: 10.1016/j.foreco.2010.07.040.
- Hietz, P., Valencia, R., Wright, S.J. 2013. Strong radial variation in wood density follows a uniform pattern in two neotropical rain forests. *Functional Ecology*, 27, 684–692. doi: 10.2307/23481029.
- Hong, L.T., Lemmens, R.H.M.J., Prawirohatmodjo, S., Soerianegara, I., Sosef, M.S.M., Wong, W.C. (Editors). CD-ROM PROSEA Timber trees. [http://proseanet.org/prosea/product_details.php?cat=3andid=43anduser_id=.](http://proseanet.org/prosea/product_details.php?cat=3andid=43anduser_id=)
- Houghton, R.A. 1985. Net flux of carbon dioxide from tropical forest in 1980. *Nature* 316.
- Houghton, R. A., Lawrence, J. L., Hackler, J. L., Brown, S. 2001. The Spatial Distribution of Forest Biomass in the Brazilian Amazon: A Comparison of Estimates. *Global Change Biology* 7, 731–746.
- Huang, S. H., Titus, S. J., Wiens, P. W. 1992. Comparison of Nonlinear Height-Diameter Functions for Major Alberta Tree Species. *Canadian Journal of Forestry*. 22, 1297-1304. <https://doi.org/10.1139/x92-172>.
- Huete, A.R., Didan, K., Shimabukuro, Y.E., Ratana, P., Saleska, S.R., Hutyrá, L.R., Yang, W., Nemani, R.R., Myneni, R. 2006. Amazon green-up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters*, 33: L06405.
- Hummel, F.C. 1946. The formation of growth rings in *Entandrophragma macrophyllum* A. Chev. and *Khaya grandifoliola* C. DC. *Empire Forestry Revue*, 25:103-107.
- Jacoby, G.C. 1989. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. *IAWA Bulletin*, 10 (92), 99-108. doi:10.1163/22941932-90000478.
- Jacquot C., Trenard Y., Dirol D. 1973. Atlas d'anatomie des bois des Angiospermes. Centre technique du bois, Paris, 175p
- Jaeger, M., De Reffye, Houillier, F., Barthélémy D. 2016. Architecture et croissance des plantes : Modélisation et application
- Jansen, S., Kiting, P., De Pauw, H., Idris, M., Beeckman, H., Smets, E. 1998. Preparation of wood for transmitted light microscopy and scanning electron microscopy. *Belgian Journal Botanic* 131, 41-49.
- Jardin, J.-L. 1995. Etude de la croissance de l'ayous (*Triplochiton scleroxylon*), du sapelli (*Entandrophragma cylindricum*), et du fraké (*Terminalia superba*) par analyse de cernes. Projet aménagement pilote intégré de Dimako. Ministère de l'Environnement et des Forêts, Douala, Cameroun.
- Jones, A., Breuning-Madsen, H., Brossard, M., Dampha, A., Deckers, J., Dewitte, O., Gallali, T., Hallett, S., Jones, R., Kilasara, M. 2013. Soil atlas of Africa. European Commission, Office of the European Union. 173p.
- Jourez, B. 2011. Anatomie et identification des bois. Cours d'anatomie 96p. Université de Liege Belgique.
- Kalela-Brundin, M. 1999. Climatic information from tree-rings of *Pinus sylvestris* L. and a reconstruction of summer temperatures back to AD 1500 in Femundsmarka, eastern

- Norway, using partial least squares regression (PLS) analysis. *Sage journals* 9(1), 59-77. <https://doi.org/10.1191/095968399678118795>.
- Karsenty, A. 2006. L'impact des réformes dans le secteur forestier en Afrique Centrale. Pages 25-60 in J. C. N. R. Nasi, and D. Ezzine de Blas, editor. Exploitation et gestion durable des forêts en Afrique Centrale. L'Harmattan, Paris, France.
- Kebede, B., Soromessa, T. 2018. Allometric Equations for Aboveground Biomass Estimation of *Olea europaea* L. subsp. *cuspidata* in Mana Angetu Forest. *Ecosystem Health and Sustainability*. 4 (1), 1-12. <https://doi.org/10.1080/20964129.2018.1433951>.
- Ketterings, Q.M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., Palm, C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*. 146, 199–209. doi:10.1016/S0378-1127(00)00460-6.
- Killmann, W., Tong, H.L. 1995. The periodicity of growth in tropical trees with special reference to Dipterocarpaceae – A review. *IAWA Journal*, 16, 329–335.
- King, D.A., Davies, S.J, Supardi, M.N.N., Tan, S. 2005. Tree growth is related to light interception and wood density in two mixed dipterocarp forests of Malaysia. *Funct Ecol*. 19, 445–453. doi: 10.1111/j.1365-2435.2005.00982.x.
- King, D A., Davies, S.J., Tan, S., Noor, N.S.M.D. 2006. The role of wood density and stem support costs in the growth and mortality of tropical trees. *Journal of Ecology*. 94 (3), 670–680. doi:10.1111/j.1365-2745.2006.01112. x.
- Kollmann, F 1951. Technologie des Holzes und der holzwerkstoffe. Zweite auflage. I. Band. Springer-Verlag, Berlin - Göttingen, Heidelberg - Bergmann JF, München, pp. 1050.
- Köppen, W., 1900: – Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. – *Geographische Zeitschrift*, 6, 593–611, 657–679.
- Köppen, W. 1936. Das geographische System der Klimate, in: Handbuch der Klimatologie, edited by: Köppen, W. und Geiger, G., 1. C. G. Br. Borntraeger, 1–44.
- Kottek, M., Greiser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15 (3), 259-263.
- Kurokawa, H., Yoshida, T., Nakamura, T., Lai, J., Nakashizuka, T. 2003. The age of tropical rain-forest canopy species, Borneo ironwood (*Eusideroxylon zwageri*), determined by ¹⁴C dating. *Journal of Tropical Ecology*, 19, 1-7.
- Lachenbruch, B., Moore, J.R., Evans, R. 2011. Radial variation in wood structure and function in woody plants, and hypotheses for its occurrence. Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function (eds F.C. Meinzer, B. Lachenbruch & T.E. Dawson), pp. 121–164. Springer, the Netherlands.
- Lachenbruch, B., Mc Culloh, K. 2014. Traits, properties, and performance: how woody plants combine hydraulic and mechanical functions in a cell, tissue, or whole plant. *New Phytologist* 204, 747-764.
- Lambin, E.F., Geist, H.J., Lepers, E. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205-241.
- Laporte, N. T., Stabach, J. A., Grosch, R., Lin, T. S., Goetz, S. J. 2007. Expansion of industrial logging in Central Africa. *Science*, 316, 1451.
- Lebourgeois, F., Merian, P. 2012. Principes et méthode de la dendrocronologie. AgroParisTech ENGREF, France 89 p.
- Lehnebach, R., Bossu, J., Va, S., Morel, H., Amusant, N., Nicolini, E., Beauchêne, J. 2018. Wood Density Variations of Legume Trees in French Guiana along the Shade Tolerance Continuum: Heartwood Effects on Radial Patterns and Gradients. *Forests*. 80(10), 1-22. doi:10.3390/f10020080
- Letouzey, R. 1968. Étude phytogéographique du Cameroun. Editions Paul Lechevalier, Paris France 511 p.

- Letouzey, R. 1985. Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1/500 000 Orohydrographie. Institut de la Carte Internationale de la Végétation, Toulouse France.
- Lewis, S.L., Llyod, J., Sitch, S., Mitchard, E.T.A., and Laurance, W.F. 2009b. Changing Ecology of Tropical Forests: Evidence and Drivers. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 40, 529-549.
- Lewis, L.S., López-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffo, K., Barker, T.R., Ojo, L.O., Phillips, O.L., Reitsma, J.M., White, L., Comiskey, J.A., Djuikouo Kamdem, M.N., Ewango, C.E.N., Feuldpausch, T.R., Hamilton, A.C., Gloor, M., Hart, T., Haldik, A., et al. 2009a. Increasing carbon storage in intact African tropical forest. *Nature*, 457, 1003-1006.
- Lewis, S. L., Phillips, O. L., Baker, T. R. 2006. Impacts of global atmospheric change on tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 21:173-174. doi: 10.1016/j.tree.2006.02.001.
- Ligot, G., Fayolle, A., Gourlet-Fleury, S., Dainou, K., Gillet, J.F., De Ridder, M., Drouet, T., Groenendijk, P., Doucet, J.L. 2019. Growth determinants of timber species *Triplochiton scleroxylon* and implications for forest management in central Africa. *For. Ecol. Manage.* 437:211-221. doi: 10.1016/j.foreco.2019.01.042.
- Lisi, C.S., Filho, M.T., Botosso, P.C., Roig, F.A., Maria, V.R.B., Fedele, L.F., Voigt, A.R.A. 2008. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in Southeast Brazil. *Iawa Journal*, 29, 189-207. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000179>.
- López, L., Villalba, R., Bravo, F. 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. *Forest Ecology and Management*, 292, 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.011>.
- Lotfiomran, N, Köhl, M. 2017. Retrospective analysis of growth a contribution to sustainable forest management in the tropics. *IAWA Journal*, 38(3), 297-312. doi 10.1163/22941932-20170173.
- Lowe, R.G. 1961. Periodic growth in *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. Federation of Nigeria Department Forest Research Technical Note No. 13, 150-163.
- Lüttge, U., Kluge, M., Bauer, G. 2002. *Traité fondamentale de Botanique*. Lavoisier (ed.), Paris, ISBN 2-7430-0412-6, 604p.
- Lyamabo, D.E. 1971. Some aspects of girth and radial growth patterns of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Nigeria agricultural*, 6, 51-57.
- Maiti, R., Rodriguez, H., & Kumari, A. 2016. Qualitative and Quantitative Characterization of Wood Fibers of Shrubs and Tree Species of the Tamaulipan Thorn Scrub, Northeastern Mexico and Its Possible Relation to Wood Quality and Utilization. *American Journal of Plant Sciences*, 7, 1046-1057. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.77100>.
- Maniatis, D., Saint, A.L., Temmerman, M., Malhi, Y., and Beeckman, H. 2011. The potential of using xylarium wood samples for wood density calculations: A comparison of approaches for volume measurement. *iForest — Biogeosciences and Forestry*. 4(4), 150-159. doi: 10.3832/ifor0575-004.
- Marchal, D., Rondeux, J. 1995a. Comment mesurer la hauteur d'un arbre au moyen d'un clinomètre-Faculté des sciences agronomiques de Gembloux. 2p.
- Marchal, D., Rondeux, J. 1995b. Comment mesurer la hauteur d'un arbre au moyen d'un dendromètre-Faculté des sciences agronomiques de Gembloux. 2p.
- Marchal, D., Rondeux, J. 1995c. Comment estimer la surface terrière d'un peuplement-Faculté des sciences agronomiques de Gembloux. 2p.
- Mariaux, A. 1967a. Les cernes dans les bois tropicaux africains, nature et périodicité. *Bois et Forêts des Tropiques*, 114, 3-14.
- Mariaux, A. 1967b. Les cernes dans les bois tropicaux africains, nature et périodicité (suite et fin). *Bois et Forêts des Tropiques*, 114, 23-37.

- Mariaux, A. 1969. Périodicité de la formation des cernes dans le bois de Limba. *Bois et Forêts des Tropiques*, 128, 39–54.
- Mariaux, A. 1970. La périodicité de formation des cernes dans le bois de l'Okoumé. *Bois et Forêt des Tropiques*, 131, 37-50.
- Martin, D., Segalen, P. 1966. Notice explicative. Carte pédologique du Cameroun oriental au 1/1000000. Centre O.R.S.T.O.M. de Yaoundé, Cameroun. O.R.S.T.O.M., Paris, France. 134p.
- Martinez-Ramos, M., Alvarez-Buylla, E.R. 1998. How hold are tropical rainforest tree? 400-405.
- Mayaux, P., Archard, F., Malingreau, J.P. 1998. Global tropical forest area measurements derived from coarse resolution satellite imagery: a comparaison with other approaches. *Env.Con.*, 25 (1):37-52.
- Meunier, Q., Moumbogou, C., Doucet, J.L. 2015. Les Arbres utiles du Gabon. Les presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux Belgique
- Morel, H. 2013. Dynamique de croissance radiale saisonnière et annuelle des arbres en forêt tropicale humide Guyanaise. Thèse *P.h.D.* Université des Antilles et de la Guyane. 296p.
- Morton, D.C., Nagol, J., Carbajal, C.C., Rosette, J., Palace, M., Cook, B.D., Vermote, E.F., Harding, D.J., North, R.J. 2014. Amazon forests maintain canopy structure and greenness during the dry season. *Nature* 506: 221–224.
- Mugasha, A. W., Bollandasås, O. M., & Tron, A. 2013. Relations entre le diamètre et la hauteur des arbres en forêt tropicale naturelle en Tanzanie. *Forêts du Sud: Une Revue de Science Forestière*, 75, 21-237.
- Muller-Landau, H.C. 2004. Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. *Biotropica*, 36 (1), 20– 32.
- Myneni, R.B., Yang, W., Nemani, R.R., Heide, A.R., Dickinson, R.E., Knyazikhin, Y., Didan, K., Fu, R., Juarez, R.I.N., Saatchi, S.S. et al. 2007. Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 104: 4820–4823.
- Nock, C. A., Geihofer, D., Grabner, M., Baker, P. J., Bunyavejchewin, S., Hietz, P. 2009. Wood density and its radial variation in six canopy tree species differing in shade-tolerance in western Thailand. *Annals of Botany*. 104, 297–306. doi:10.1093/aob/mcp118.
- Nultsch, W. 1998. Botanique générale. De Boeck Université, Thieme Verlag, Paris, Bruxelles, 603p.
- Nzogang, A. 2009. Tropical forest dynamics after logging - natural regeneration and growth of commercial tree species - in southeast Cameroon, PhD Thesis, Doctor, Faculty of Forest and Environmental Sciences, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau, Germany, 220 p.
- Olesen, P.O. 1971. The water displacement method: a fast and accurate method of determining the green volume of wood samples. *Forest Tree Improvement*. 3, 3–23.
- Onoda, Y., Richards, A.E., Westoby, M. 2010. The relationship between stem biomechanics and wood density is modified by rainfall in 32 Australian woody plant species. *New Phytologist*. 185, 493–501. doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.03088.x.
- Osazuwa-Peters, O.L., Wright, S.J., Zanne, A.E. 2014. Radial variation in wood specific gravity of tropical tree species differing in growth-mortality strategies. *Am J Bot.* 101, 803-811. doi: 10.3732/ajb.1400040.
- Oumar, A., Choula, F., Fotsop, W. O., Priso, R. J., & Taffouo, V. D. 2021. Paramètres de structure, état phénologique de *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. et diversité spécifique des essences accompagnatrices dans la forêt du Sud-Est Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15, 707-727.

- Palla, F., Louppe, D. 2002a. Sapelli. In. CIRAD, Montpellier – France. 4 p.
- Palla, F., Louppe, D. 2002b. Obeché. In. CIRAD, Montpellier – France. 6 p.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, A.R., Kurz, A.W., Phillips, L.O., et al. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333, 988-993. doi: 10.1126/science.1201609.
- Panshin, A.J., de Zeeuw, C. 1980. Textbook of wood technology, 4th edn. McGraw-Hill, New York-USA.
- Parolin, P. 2002. Radial gradients in wood specific gravity in trees of central Amazonian floodplains. *IAWA Journal*, 23, 449–457.
- Pauwels, D. 2001. Le VERTEX : une nouvelle génération de dendromètres multi-usages. Note technique forestière de Gembloux-FUSAGx n 1. 14p.
- Picard, N., Banak, L.N., Namkossereana, S., Yalibanda, Y. 2009. The stock recovery rate in a Central African rain forest: an index of sustainability based on projection matrix models. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(11), 2138-2152. doi:10.1139/X09-103
- Picard, N., Gourlet-Fleury, S. 2008. Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêts de production dans le bassin du Congo. COMIFAC, 265p. Cirad-00339816f.
- Picard, N., Magnussen, S., Banak, L.N., Namkossereana, S., Yalibanda, Y. 2010. Permanent sample plots for natural tropical forests: a rationale with special emphasis on Central Africa. *Environmental Monitoring Assessment*, 164, 279–295.
- Phillips, O. L., Hall, P., Gentry, A. H., Sawyer, S. A., Vasquez, R. 1994. Dynamics and species richness of tropical rain forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91, 2805–2809.
- Phillips, O.L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, F.W., Núñez, V.P., Vásquez, M.R., et al. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science*, 282, 439-442. doi: 10.1126/science.282.5388.439.
- Plourde, B. T., Boukili, V. K., Chazdon, R. L. 2015. Radial changes in wood specific gravity of tropical trees: inter- and intraspecific variation during secondary succession. *Functional Ecology*. 29, 111-120. doi: 10.1111/1365-2435.12305.
- Poorter, L., Bongers, F., Van Rompaey, R.S.A.R., De Klerk, M. 1996. Regeneration of canopy tree species at five sites in West African moist forest. *Forest Ecology and Management* 84, 61–69.
- Pumijumng, N., Eckstein, D., Sass-Klaassen, U. 1995. Tree ring research on *Tectona grandis* in northern Thailand. *IAWA Journal*, 16, 385–392.
- Pumijumng, N., Wanyaphet, T. 2006. Seasonal cambial activity and tree ring formation of *Pinus merkusii* and *Pinus kesya* in northern Thailand.in dependence and climate. *Forest Ecology and Management*, 226, 279–289.
- Putz, F.E., Coley, P.D., Lu, K., Montalvo, A. & Aiello, A. 1983. Uprooting and snapping of trees: structural determinants and ecological consequences. *Canadian Journal of Forest Research*, 13, 1011–1020.
- Putz, F.E., Zuidema, P.A., Synnott, T., Peña-Claros, M., Pinard, M.A., Sheil, D., Vanclay, J.K., Sist, P., Gourlet-Fleury, S., Griscom, B., Palmer, J., Zagt, R. 2012. Sustaining conservation values in selectively logged tropical forests: The attained and the attainable. *Conservation Letters*, 5 (4), 296-303. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1755-263X>.
- R Development Core Team, 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 3.3.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://R-project.org/>.
- Ramanantoandro, T., Rafidimanantsoa, H.P., Ramanakoto, M.F. 2015. Forest aboveground biomass estimates in a tropical rainforest in Madagascar: new insights from the use of

- wood specific gravity data. *Journal of Forestry Research*, 26, 47–55. doi: 10.1007/s11676-015-0029-9.
- Ramanantoandro, T., Ramanakoto, M. F., Rajoelison, G. L., Randriamboavonjy, J. C., Rafidimanantsoa, H. P. 2016. Influence of tree species, tree diameter and soil types on wood density and its radial variation in a mid-altitude rainforest in Madagascar. *Annals of Forest Science*, 73 (4). 1–12.
- Renner, S.S. 2007. Synchronous flowering linked to changes in solar radiation intensity. *New Phytologist*, 175: 195–197.
- Richter, H.G., and Dallwitz, M.J. 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 9th April 2019. delta-intkey.com.
- Robinson A. P., & Wykoff, W. R. 2011. Imputing missing height measures using a mixed-effects modeling strategy. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 2492-2500. <https://doi.org/10.1139/x04-137>
- Roque, R.M., Filho, M.T. 2007. Relationships between anatomical features and intra-ring wood density profiles in *Gmelina arborea* applying x-ray densitometry. *Cerne* 13 (4): 384–392.
- Rondeux, J., 1999. La mesure des arbres et des peuplements forestier. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux-Belgique, 514 p.
- Rondeux, J., 2021. La mesure des arbres et des peuplements forestier. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux-Belgique, 726 p.
- Rotheudt, H., Verrue, V. 2002. Le compas électronique : outil d’informatisation de la mesure de diamètres d’arbres. Note technique forestière de Gembloux n°7 – FUSAGx. 11p.
- Rowell, R. M. 2005. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press, Taylor & Francis Group Boca Raton, FL
- Rozendaal, D.M.A., Soliz-Gamboa, C.C., Zuidema, P.A. 2010a. Timber yield projections for tropical tree species: the influence of fast juvenile growth on timber volume recovery. *Forest Ecology and Management*, 259, 2292–2300. <https://doi.org/10.1616/j.foreco.2010.02.030>.
- Rozendaal D.M.A., Brienen R.J.W., Soliz-Gamboa C.C., Zuidema P.A. 2010b. Tropical tree rings reveal preferential survival of fast-growing juveniles and increased juvenile growth rates over time. *New Phytologist*, 185, 759-769. <https://doi.org/10.1111/j.14698-137.2009.03109.x>.
- Ruiz Pérez, M., De Blas, D.E., Nasi, R., Sayer, J.A., Sassen, M., Angoué, C., Gami, N., Ndoye, O., Ngono, G., Nguingiri, J.C., Nzala, D., Toirambe, B., Yalibanda, Y., 2005. Logging in the Congo Basin: a multi-country characterization of timber companies. *Forest Ecology and Management*, 214, 221–236. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.04.020>.
- Sallenave, P. 1955. Propriétés Physiques et Mécaniques des Bois Tropicaux de l’Union Française. CTFT, Nogent sur Marne (Seine), France. 144p.
- Sallenave P. 1964. Propriétés Physiques et Mécaniques des Bois Tropicaux. Premier supplément, CTFT, Nogent sur Marne (Seine), France. 81p.
- Sallenave P. 1971. Propriétés Physiques et Mécaniques des Bois Tropicaux. Deuxième supplément, CTFT, Nogent sur Marne (Seine), France. 125p.
- Santiago-García, W., Jacinto-Salinas, H. A., Rodriguez-Ortiz, G., Nava-Nava, A., Santiago-García, E., Ángeles-Pérez, G., Enrique-del Valle, R. J. 2020. Generalized Height-Diameter models for five pine species at Southern Mexico. *Forest Science and Technology*, 16, 49-55. <https://doi.org/10.1080/21580103.2020.1746696>.
- Sarton, G. 1954. When was tree-ring analysis discovered?. *Isis* 45(4), 383–384.
- Sarre, A., Sobogal, C. 2013 Is SFM impossible dream? *Unasylva*.: (26-34).

- Sass, U., Killmann, W., Eckstein, D. 1995. Wood formation in two species of Dipterocarpaceae in peninsular Malaysia. *IAWA Journal*, 16, 371-384.
- Schmitz, N. 2010a. How to do measurements ? (Lab. Protocol general information) 7p.
- Schmitz, N. 2010b. Quantitative wood anatomy : how to work with AnalySIS software ? (Lab. Protocol for manual AnalySIS) 5p.
- Schmitz, N. 2010c. Working with microscope. (Lab. Protocol for using microscope) 2p.
- Schmitz, N. 2010d. Sampling wood for microtomy (Lab. protocol for basic wood anatomy procedures: making and staining micro-section of wood samples) 9p.
- Schmitz, N., Verheyden, A., Kairo, J.G., Beeckman, H., Koedam, N. 2007. Successive cambia development in *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. is not climatically driven in the seasonal climate at Gazi Bay, Kenya. *Dendrochronologia*, 25, 87–96.
- Schmitz, N. (ed.), Beeckman, H., Blanc-Jolivet, C., Boeschoten, L., Braga, B.W.J., Cabeza, A.J., Chaix, G., Cramer, S., Degen, B., Deklerck, V., Dormoont, E., Espinosa, E., Gasson, P., Haag, V., Helmling, S., Horacek, M., Koch, G., Lancaster, C., Lens, F., Lowe, A., Martínez-Jarquín, S., Nowakowska, A.J., Olbrich, A., Parades-Villanueva, M.C.T., Pastore, T., Ramanantoandro, Razafimahatratra, R.A, Ravindran, P., Ress, G., Soares, F.L., Tysklind, N., Vlam, M., Watkinson, C., Wheeler, E., Winkler, R., Weidonhoeft, C.A., Zemke, Th.V. Zuidema, P. 2020. Overview of current practices in data analysis for wood identification. A guide for the different timber tracking methods. Global Timber Tracking Network, GTTN secretariat, European Forest Institute and Thünen Institute. DOI: 10.13140/RG.2.2.21518.79689
- Schneider, C., A., Rasband, W., S., Eliceiri, K.W. 2012. NIH image to image J: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9 (7), 671-675. doi:10.1038/nmeth.2089.
- Schöngart, J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management*, 256, 46-58. doi:10.1016/j.foreco.2008.03.037.
- Schöngart, J., Piedade, M.T.F., Ludwigshausen, S., Horna, V., Worbes, M. 2002. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology*, 18, 581-597. doi:10.1017/S0266467402002389.
- Schöngart, J., Orthmann, B., Hennenberg, K.J., Porembski, S., Worbes, M. 2006. Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction. *Global Change Biology*, 12, 1139–1150. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01154.x.
- Schöngart, J., Wittmann, F., Worbes, M., Piedade, M.T.F., Krambeck, H.J., Junck, W.J. 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white water floodplain forest defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science*, 64, 657-664. <https://doi.org/10.1051/forest:2007044>.
- Schrader, J. 2003. Developmental Biology of Wood Formation – Finding Regulatory Factors Through Functional Genomics. Department of Forest Genetics and Plant Physiology. Umeå, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Schweingruber, F.H. 1988. Tree rings: bases and applications of dendrochronology. D. Reidel publishing company, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, Holland. 276 p.
- Schweingruber, F.H. 1990. Anatomie microscopique du bois. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et les paysages, 3ème édition, Suisse, ISBN 3-905620-02-2, 226p
- Schweingruber, F. H. 1996. Tree Rings and Environment - Dendroecology. Haupt Press. Berne. 609p.
- Sharma, M., Parton, J. 2007. Height-Diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach. *Forest Ecology and Management*, 249, 187-198. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.006>.

- Sharma, M., Zhang, S. Y. 2004. Height/Diameter models using stand characteristics for *Pinus banksiana* and *Picea mariana*. *Scandinavian Journal of Forestry Research*, 19, 442-451. <https://doi.org/10.1080/02827580410030163>.
- Sharma, R. P., Breidenbach, J. 2015. Modélisation des relations hauteur-diamètre pour l'épinette de Norvège, le pin sylvestre et le bouleau pubescent à l'aide des données de l'inventaire forestier national norvégien. *Science et Technologie Forestières*.
- Sist, P., Mazzei, L., Blanc, L., Rutishauser, E. 2014. Large trees as key elements of carbon storage and dynamics after selective logging in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 318, 103-109.
- Speer, J., H. 2010. Fundamentals of Tree-Ring Research. The University of Arizona Press, Tucson. 509 p. (. Spring 2010) ISBN 978-0-8165-2684-0.
- Stahle, D.W. 1999. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. *IAWA Journal* 20(3), 249–253. doi: 10.1163/22941932-90000688.
- Stahle, D.W., Mushove, P.T., Cleaveland, M.K., Roig, F.A., Haynes, G.A. 1999. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. *Forest Ecology and Management*, 124, 217–229. PII: S0 3 7 8 - 1 1 27 (99) 0 0 0 7 5 – 4.
- Swaine, M.D. 1994. Long-term studies of tropical forest dynamics. In: Long-term experiments in agricultural and ecological sciences. (eds Leigh R.A., Johnston A.E.) pp Page., CAB International.
- Tarelkin, Y., Delvaux, C., De Ridder, M., El Berkani, T., De Cannière, C., Beeckman, H. 2016. Growth-ring distinctness and boundary anatomy variability in tropical trees. *IAWA Journal*, 37, 275–294. <http://dx.doi.org/10.1163/22941932-20160134>.
- Tarhule A., Hughes M.K. 2002 Tree-ring research in semi-arid West Africa: Need and potential. *Tree-Ring Research*, 58, 31-46.
- Temesgen, H., Zhang, C., & Zhao, X. H. 2014. Modelling Tree Height-Diameter Relationships in Multi-Species and Multi-Layered Forests: A Large Observational Study from Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 316, 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.035>.
- Therrell, M.D., Stahle, D.W., Mukelabai, M.M., Shugart, H.H. 2007. Age, and radial growth dynamics of *Pterocarpus angolensis* in southern Africa. *Forest Ecology and Management*, 244, 24–31. doi:10.1016/j.foreco.2007.03.023.
- Thévenaz, P., Unser, M. 2007. User friendly semiautomated assembly of accurate image mosaic in microscopy. *Microscopy Research Technique*, 70 (2), 135-146. doi: 10.1002/jemt.20393.
- Tosso, F., Daïnou, K., Sonké, B., Levicek, C., Bracke, C., Forni, É., Jobbé-Duval, B., Ligot, G., Tchuanté T.V., Gourlet-Fleury, S., Doucet, JL. 2020. Sentiers de suivi de la croissance, de la mortalité et de la phénologie des arbres tropicaux. Guide méthodologique. Presses Agronomiques de Gembloux.
- Trincado, L., Vanderschaaf, C. L., Burkhart, E. H. 2007. Regional Mixed-Effects Height-Diameter Models for Lobolly Pine (*Pinus taeda* L.) Plantations. *European Journal of Forest Research*, 126, 253-262. <https://doi.org/10.1007/s10342-006-0141-7>.
- Trouet, V., Coppin, P., Beeckman, H. 2006. Annual Growth Ring Patterns in *Brachystegia spiciformis* Reveal Influence of Precipitation on Tree Growth. *Biotropica*, 38(3) 375-382.
- Trouet, V., Esper, J., Beeckman, H. 2010. Climate-growth relationships of *Brachystegia spiciformis* from the Miombo woodland in south central Africa. *Dendrochronologia*, 28, 161–171.
- Trouet, V., Esper, J., Graham, N. E., Baker, A., Scourse, J. D., Frank, D. C. 2009. Persistent positive North Atlantic Oscillation mode dominated the Medieval Climate Anomaly. *Science*, 324, 78-80.

- Trouet, V., Haneca, K., Coppin, P., Beeckman, H. 2001. Tree ring analysis of *Brachystegia spiciformis* and *Isoberlinia tomentosa*: evaluation of the ENSO-signal in the Miombo woodland of eastern Africa. *IAWA Journal*, 22, 385–399.
- Trouy, M.C. 2017. Anatomie du bois. Fun Mooc Ecole Nationale Supérieure de Technologie du Bois Université de Lorraine France
- Tsega, M., Guadie, A., Teffera, Z. L., Belayneh, Y., & Niu, D. 2018. Development and Validation of Height-Diameter Models for *Cupressus lusitanica* in Gerged Forest, Ethiopia. *Forest Science and Technology*, 14, 138-144. <https://doi.org/10.1080/21580103.2018.1482794>.
- Turner, I.M. 2001. The Ecology of Trees in the Tropical Rain Forest *Cambridge University Press*, Cambridge - United Kingdom.
- Vallen D., Phillips, P., Vidal, E., Schulze, M., Grogan, J., Sales, M., Van Gardingen, P. 2007. Adaptation of a spatially explicit individual tree-based growth and yield model and long-term comparison between reduced impact and conventional logging in eastern Amazonia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 243,187-198.
- Van Laar, A., Akça, A. 2007. Forest Mensuration. Vol.13 *Managing Forest System* (series editors: von Gadow, K., Pukkala, T., Tomé, M.) 389p. ISBN 978-1-4020-5990-2
- Van Schaik, C.P., Terborgh, J.W., Wright, S.J. 1993. The phenology of tropical forests: adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 353–377.
- Verheyden, A., Kairo, J.G., Beeckman, H., Koedam, N. 2004. Tree rings, tree ring formation and age determination in the mangrove *Rhizophora mucronata*. *Annals of Botany*, 94, 59–66. doi:10.1093/aob/mch115.
- Vetter, R.E., Botosso, P.C. 1989. Remarks on age growth rate determination in Amazonia trees. *IAWA Bull. n.s.* 10, 133-145.
- Villanueva, K.P. 2015. Dendrochronological growth characterization of timber species from moist to dry tropical forests in Bolivia. 150 p.
- Vivien, J., Faure, J.J. 1985. Arbres des forêts denses d’Afrique Centrale. ACCTechnique - Agence de Coopération Culturelle et Technique, Paris, France. 565p.
- Vivien, J.; Faure, J.J. 2011. Arbres des forêts denses d’Afrique Centrale. COMIFAC, GIZ, TNS et FRM, Saint Berthevin, France, 945 p.
- Wagenführ, R. 1988. Anatomie des Holzes. VEB Fachbuchverlag Leipzig (ed), ISBN 3-343-00455-3, 334p
- Wagenführ, R. 1999. Anatomie des Holzes: Strukturanalytik - Identifizierung - Nomenklatur - Mikrotechnologie. DRW-Verlag Weinbrenner.
- Wassenberg, M., Chiu, H.-S., Guo, W., Spiecker, H. 2014. Analysis of wood density profiles of tree stems: incorporating vertical variations to optimize wood sampling strategies for density and biomass estimations. *Trees*. 29, 51–561. doi: 10.1007/s00468-014-1134-7.
- Webb, G.E. 1983. Tree rings and telescopes. The scientific career of A.E. Douglass. University of Arizona Press, Tucson, 242p.
- Wheeler, E.A. 2011. InsideWood - A web resource for hardwood anatomy. *IAWA Journal*, 32, 199-211. www.insidewood.lib.ncsu.edu.
- White, F. 1983. The Vegetation of Africa. A Descriptive Memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO Vegetation Map of Africa.In: *Natural Resources Research Report XX*. Paris, France. 351p. ISBN 92-3-101955-4. doi: 10.2307/2260340.
- Wiemann, M.C., Williamson, G.B. 1988. Extreme radial changes in wood specific gravity in some tropical pioneers. *Wood Fiber Science*, 20, 344–349.
- Wiemann, M.C., Williamson, G.B. 1989. Radial gradients in the specific gravity of wood in some tropical and temperate trees. *Forest Science*, 35, 197–210.

- Williamson, G.B. 1984. Gradients in wood specific gravity of trees. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 111 (1), 51–55.
- Williamson, G.B., Wiemann M.C. 2010. Measuring wood specific gravity...Correctly. *American Journal of Botany*, 97, 519-524.
- Wils, T.G.H., Robertson, I., Eshetu, Z., Sass-Klaassen, U.G.W., Koprowski, M. 2009. Periodicity of growth rings in *Juniperus procera* from Ethiopian inferred for crossdating and radiocarbon dating. *Dendrochronologia*, 27, 47-58.
- Wils, T.H.G., Sass-klaassen, U.G.W., Eshetu, Z., Bräuning, A., Gebrekirstos, A., Couralet, C., Robertson, I., Touchan, R., Koprowski, M., Conway, D., Briffa, K.R., Beeckman, H., 2010. Dendrochronology in the dry tropics: the Ethiopian case. *Trees*, 25, 345–354.
- Woodcock, D. W, Shier, A. D. 2002. Wood specific gravity and its radial variations: the many ways to make a tree. *Trees*, 16, 437–443. doi: 10.1007/s00468-002-0173-7.
- Worbes, M. 1989. Growth rings, increment and age of trees in inundation forests, savannas and a mountain forest in the Neotropics. *IAWA Bulletin*, 10, 109-122. doi:10.1163/22941932-90000479.
- Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees. *IAWA Journal*, 16 (4), 337-351. doi: 10.1163/22941932-90001424.
- Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology*, 87, 391–403.
- Worbes, M., 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, 20, 217–231.
- Worbes, M., Fichtler, E. 2010. Wood anatomy and tree ring structure and their importance for tropical dendrochronology. pp: 329–346. In: Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Wittmann, F., Schöngart, J., Parolin, P. (eds.), Amazonian floodplain forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management. Ecological studies 210. Springer, Dordrecht Netherlands, etc. doi 10.1007/978-90-481-8725-6_17.
- Worbes, M., Junk, W.J. 1989. Dating tropical trees by means ¹⁴C bomb test. *Ecology*, 70, 503-507.
- Worbes, M., Klosa, D., Lewark, S. 1995. Density fluctuation in annual rings of tropical timbers from Central Amazonian inundation forests. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 53, 63-67.
- Worbes, M., Staschel, R., Roloff, A., Junk, W.J. 2003. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *Forest Ecology and Management*, 173, 105–123. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00814-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00814-3).
- Wright, S.J. 2005. Tropical forests in a changing environment. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 553-560. doi.org/10.1016/j.tree.2005.07.009.
- Wright, S.J., Muller-Landau, H.C., Condit, R., Hubbell, S.P. 2003. Shade tolerance, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. *Ecology*, 84 (12), 3174–3185.
- Yang, Y., & Huang, S. 2014. Suitability of Five cross Validation Methods for Performance Evaluation of Nonlinear Mixed-Effects Forest Models—A Case Study. *Forestry*, 87, 654-662. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu025>.
- Yeang, H.-Y. 2007. Synchronous flowering of the rubber tree (*Hevea brasiliensis*) induced by high solar intensity. *New Phytologist* 175: 283–289.
- Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., Chave, J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.
- Zuidema P.A., Baker P.J., Groenendijk P., Schippers P., Van Der Sleen P., Vlam M., Sterck F. 2013. Tropical forests and global change: filling knowledge gaps. *Trends Plant Science*, 18, 413-419. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.05.006>.

Zuidema, P.A., Brien, R.J.W., Schöngart, J. 2012. Tropical forest warming: Looking backwards for more insights. *Trends in Ecology and Evolution*, 27, 193-194. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.12.007>.

ANNEXES

Annexe 1. Valeurs des accroissements annuels moyens en fonction des espèces.

Tableau I. Valeur de l'accroissement annuel moyen de quelques études dans les forêts tropicales humides d'Afrique Centrale et de l'Ouest en fonction des types de mesures.

Espèce	N	AAM (cm.an ⁻¹)	Ecart-type	Période/nbre d'année	Type de mesure	Localité	Référence
<i>E. cylindricum</i>	---	0, 4-0, 5	---	---	Mesure des circonférences	Ghana	Alder, (1989)
	25	0, 19	0, 02	1800-2000	Analyse des cernes	Libongo-Cameroun	Battipaglia <i>et al.</i> , (2015)
	52	0, 33	0, 31	1987-1995	Dispositif d'études sylvicoles	Mbaïki- RCA	Bedel <i>et al.</i> , (1997)
	25	0, 34	---	1965-1973	Marquage cambial et mesure dendrométrique	Cameroun, Côte d'Ivoire et RCA	Détienne & Mariaux, (1977)
	104	0,39*/0,47**	0,09*/0,19**	----	Analyse des cernes	Sangha Mbaéré- RCA	Détienne <i>et al.</i> , (1998)
	---	0, 28	0, 22	14 ans	Mesure pluriannuelle des circonférences	Mopri-Côte d'Ivoire	Durrieu de Madron <i>et al.</i> , (1997)
	124	0, 51	0, 06	2009-2012	Placettes d'inventaire circulaires	6 UFAs-Pallisco-Cameroun	Fétéké <i>et al.</i> , (2015)
	39	0,30-0,66	0,05-0,08	2010-2012	Marquage séquentielle du cambium	6 UFAs-Pallisco-Cameroun	Fétéké <i>et al.</i> , (2016)
	15	0, 64	0, 19	----	Analyse des cernes	API Dimako-Cameroun	Jardin, (1995)
	75	0, 50	0, 05	1975-2005	Analyse des cernes	2 UFAs-Pallisco-Cameroun	Nzogang, (2009)
<i>E. suaveolens</i>	154	0, 48	0, 09	----	Analyse des cernes	Sud-Ouest-RCA	Anonyme, (1975)
	5	0, 24	0, 06	0-114	Datation au ¹⁴ C des carottes	Biakoa-Cameroun	Worbes <i>et al.</i> , (2003)
	73	0, 55	± 0, 10	2009-2012	Placette d'inventaire circulaire	6 UFAs Pallisco-Cameroun	Fétéké <i>et al.</i> , (2015)
	37	0,32-0,63	0,08 – 0,19	2010-2012	Marquage cambial séquentiel	6 UFAs Pallisco-Cameroun	Fétéké <i>et al.</i> , (2016)
<i>M. altissima</i>	57	0,57	---	---	Analyse des cernes	Sud-Ouest-RCA	Durrieu de Madron, (2003)
<i>M.</i>	---	0,4-0,5	---	---	Mesure des circonférences	Ghana	Alder, (1989)

Espèce	N	AAM (cm.an ⁻¹)	Ecart-type	Période/nbre d'année	Type de mesure	Localité	Référence
<i>excelsa</i>	11	0,51	0,09	---	Analyse des cernes	Sud-Ouest RCA	Anonyme, (1975)
	45	0,55	0,12	---	Analyse des cernes	Sud-Ouest RCA	Durrieu de Madron, (2003)
	34	0,55	0,05	1975-2005	Analyse des cernes	2 UFAs Pallisco Cameroun	Nzongang, (2009)
<i>T. scleroxylon</i>	---	0, 8-1	---	---	Mesure des circonférences	Ghana	Alder, (1989)
	17	0,50-1,72	----	1965-1974	Marquage cambial et mesure dendrométrique	Cameroun, Côte d'Ivoire et RCA	Détienne & Mariaux, (1976)
	67	0, 92	0, 15	---	Analyse de cernes	RCA	Anonyme, (1975)
	20	0, 48	0, 34	1987-1995	Dispositif d'étude sylvicole	Mbaiki-RCA	Bedel <i>et al.</i> , (1997)
	20	1, 38	0, 44	---	Analyse des cernes	API Dimako-Cameroun	Jardin, (1995)
	---	0, 94	0, 53	14 ans	Mesure pluriannuelle des circonférences	Mopri-Côte d'Ivoire	Durrieu de Madron <i>et al.</i> , (1997)
	34	1, 11	0, 28	----	Analyse des cernes	Sangha Mbaéré- RCA	Détienne <i>et al.</i> , (1998)
	18	0, 62	0, 28	0-219	Datation au ¹⁴ C des carottes	Biakoa-Cameroun	Worbes <i>et al.</i> , (2003)
	25	0, 51	0, 02	1800-2000	Analyse des cernes	Libongo-Cameroun	Battipaglia <i>et al.</i> , (2015)
	25	0,45-1,14	----	90-229	Analyse des cernes avec Arc Map	Mbang-Cameroun	Ligot <i>et al.</i> , (2019)

* accroissement des arbres de 0 à 120 cm de diamètre ; ** accroissement des arbres de 30 à 120 cm de diamètre

Annexe 2. Quelques arbres échantillonnés et paramètres dendrométriques.

Tableau I. Quelques arbres de *T. scleroxylon* échantillonnés pour la prise des mesures dendrométriques (hauteur fût, tige et diamètre gros bout) dans les chantiers de l'AAC 1-3 de la concession 1058.

N°	Coordonnées géographiques			Noms		Paramètres dendrométriques		
	Longitude	Latitude	Alt. (m)	Nom com.	Nom scientifique	Ø GB (cm)	H tige (m)	H. fût (m)
1	33N0647001	416348	652	Ayous	<i>T. scleroxylon</i> (Malvaceae)	128,9	36,67	16,5
2	33N0469701	416359	691	Ayous	<i>T. scleroxylon</i> (Malvaceae)	128,8	33	16,85
3	33N0467580	416286	702	Ayous	<i>T. scleroxylon</i> (Malvaceae)	106	48,55	23,3
4	33N0467622	416480	679	Ayous	<i>T. scleroxylon</i> (Malvaceae)	119,3	53,22	21
5	33N0469535	416459	683	Ayous	<i>T. scleroxylon</i> (Malvaceae)	120,9	39,45	21,5
6	33N0469474	416449	728	Ayous	<i>T. scleroxylon</i> (Malvaceae)	96,1	27,72	19,7

Tableau II. Quelques arbres d'*E. cylindricum* échantillonnés pour la prise des mesures dendrométriques (hauteur fût, tige et diamètre gros bout) dans les chantiers de l'AAC 1-3 de la concession 1058.

N°	Coordonnées géographiques			Noms		Paramètres dendrométriques		
	Longitude	Latitude	Alt. (m)	Nom com.	Nom scientifique	Ø GB (cm)	H tige (m)	H. fût (m)
1	33N0469821	416346	685	Sapelli	<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae)	98,7	42,7	22,35
2	33N0467722	416491	703	Sapelli	<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae)	90,7	41,1	20,6
3	33N0469822	410481	701	Sapelli	<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae)	92,4	42,46	13,32
4	33N0416934	416457	676	Sapelli	<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae)	110,4	22,24	21,14
5	33N0469205	416465	664	Sapelli	<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae)	97	19,62	15,7
6	33N0467722	416359	708	Sapelli	<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae)	102,4	34,12	17

Tableau III. Quelques arbres d'*E. suaveolens* échantillonnés pour la prise des mesures dendrométriques (hauteur fût, tige et diamètre gros bout) dans les chantiers de l'AAC 1-3 de la concession 1058.

N°	Coordonnées géographiques			Noms		Paramètres dendrométriques		
	Longitude	Latitude	Alt. (m)	Nom com.	Nom scientifique	Ø GB (cm)	H tige (m)	H. fût (m)
1	33N0467662	416339	702	Tali	<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae)	70,7	35,11	16
2	33N0469518	416463	695	Tali	<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae)	85,3	30	16,2
3	33N0469293	416493	670	Tali	<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae)	74,7	31,4	15,2
4	33N0469275	416584	677	Tali	<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae)	83,7	28,13	12,23
5	33N0467465	416202	695	Tali	<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae)	70	27	15
6	33N0467655	416023	711	Tali	<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae)	85,9	25,4	15,7

Annexe 3. Description anatomiques des deux espèces (Wheeler, 2011).

Bété, *Mansonia altissima* A Chev (Malvaceae)

- 1v Limite de cerne visible et distincte : (c) parenchyme marginal terminal en bande continue de 3 à 7 cellules de large séparant une zone distincte de fibres du bois initial du cerne suivant
- 2v Limite de cerne indistincte ou absente
- 5 Bois à pore diffus
- 13 Perforation simple
- 22 Ponctuation intervasculaire alterne
- 41 Taille des vaisseaux : moyens (50-100 μm)
- 42 Taille des vaisseaux : gros (100-200 μm)
- 47 5-20 vaisseaux par mm^2 (rare)
- 69 Fibres minces à paroi épaisses
- 76 Parenchyme axial diffus
- 77 Parenchyme axial en chaînette
- 78 Parenchyme axial rare et paratrachéal
- 92 Quatre (3-4 cellules) par brin de parenchyme
- 136 Présence de cristaux prismatiques
- 140v Cristaux prismatiques en position verticale à chambre et / ou de cellules des rayons carrés
- 141v Cristaux prismatiques dans les cellules non cloisonnées du parenchyme axial

Iroko, *Milicia excelsa* Welw (Moraceae)

- 1 Limites de cernes indistinctes ou absentes.
- 2 Vaisseaux :
- 5 Bois à pores disséminés
- 13 Perforations simples
- 22 Ponctuations intervasculaires en quinconce
- 43 Taille des vaisseaux ($\geq 200 \mu\text{m}$)
- 47 Taille des vaisseaux 5–20 par mm^2 (rare)
- 69 Fibres à parois fines à épaisses.
- 80 : parenchyme axial circumvasculaire étiré ;
- 81 : parenchyme axial en losange ;
- 82 : parenchyme axial aliforme
- 83 Parenchyme axial anastomosé
- 84 : parenchyme axial paratrachéal unilatéral
- 85 : parenchyme axial en bandes larges de plus de trois cellules
- 86 : parenchyme axial en lignes minces, au maximum larges de trois cellules
- 91 : deux cellules par file verticale ;
- 92 Quatre (3–4) cellules par file verticale.
- 136 Présence de cristaux prismatiques
- 137 Cristaux prismatiques dans les cellules dressées et/ou carrées des rayons ;
- 141 Cristaux prismatiques dans les cellules non cloisonnées du parenchyme axial.

Annexe 4. Description anatomiques des trois espèces (Wheeler, 2011)

Sapelli, *Entandrophragma cylindricum* Sprague (Meliaceae) (fig.)

- 1v Limite de cerne visible et distincte : (c) parenchyme marginal terminal en bande continue de 3 à 7 cellules de large séparant une zone distincte de fibres du bois initial du cerne suivant
- 5 Bois à pore diffus
- 7v Disposition des vaisseaux en file radiale ou oblique
- 10 Regroupement des vaisseaux : isolés ou accolés par paire
- 12 Contour arrondi des vaisseaux
- 42 Taille des vaisseaux : gros vaisseaux de 100-200 μm
- 47 5-20 vaisseaux par mm^2 (rare)
- 58 Gomme ou autre dépôt dans les vaisseaux du bois de cœur
- 69 Fibres à paroi d'épaisseur moyenne
- 78 Parenchyme axial paratrachéal juxtavasculaire
- 79v Parenchyme axial paratrachéal en manchon
- 80 Parenchyme axial paratrachéal aliforme
- 81v Parenchyme axial paratrachéal aliforme en losange
- 82v Parenchyme axial paratrachéal aliforme ailé
- 83 Parenchyme axial paratrachéal confluent
- 85 Parenchyme axial en bande de plus de 3 à 7 cellules
- 89 Parenchyme axial en bande marginale
- 131 Présence de canaux traumatiques.

Tali, *Erythrophleum suaveolens* Guill. & Perr. (Fabaceae)

- 2 Limite de cerne indistincte : (c) parenchyme marginal terminal formant en bande fine discontinue avec des extensions latérales autour des vaisseaux de taille réduite.
- 5 Bois à pores diffus (taille des vaisseaux presque identique)
- 6 Vaisseaux disséminés
- 10v Disposition partiellement isolée des vaisseaux ou accolée radialement par 2
- 12 Vaisseaux à contours arrondis
- 42 Taille des vaisseaux : moyen à gros (55-195 μm)
- 45 Présence de vaisseaux de deux tailles distinctes
- 46 au moins 5 vaisseaux par mm^2 (très rare)
- 47v 5 à 20 vaisseaux par mm^2 (rare)
- 70 Fibres à paroi épaisse
- 80 Parenchyme axial aliforme
- 81 Parenchyme axial en losange aliforme
- 83 Parenchyme axial paratrachéal anastomosé
- 84 Parenchyme axial paratrachéal unilatéral
- 92 Quatre (3-4 cellules) par brin de parenchyme
- 136v Présence de cristaux prismatiques
- 142v Cristaux prismatiques dans les cellules cloisonnées de parenchyme axial

Ayous, *Triplochiton scleroxylon* K. Schum (Mavaceae)

- 1 Limite de cernes distincts
- 5 Bois à pores diffus
- 13 Perforation simple
- 22 Ponctuation intervasculaire alterne
- 42 Taille des vaisseaux : gros (100-200 μm)
- 47 5-20 vaisseaux par mm^2 (rare)
- 69 Fibre à paroi fines à épaisses à paroi d'épaisseur moyenne

- 77 Parenchyme axial en chaînette
- 79 Parenchyme axial vasicentrique
- 86v Parenchyme axial en lignes minces, ayant maximum trois cellules de large
- 89v Parenchyme axial en bandes marginales ou apparemment marginales
- 90 Cellule de parenchyme fusiforme
- 91 Deux cellules par file verticale de parenchyme
- 92 Quatre (3-4 cellules) par file verticale de parenchyme
- 136 Présence de cristaux prismatiques
- 141 Cristaux prismatiques dans les cellules non cloisonnées du parenchyme axial.

Annexe 6. Séminaires de formation, posters, présentations et articles

Training course “Dendroclimatology in a region with heavily used forests – the use of historical wood” ; “Historical dating” ; Understanding historical wood utilization –Ideas for the future” ; “Crossdating”. by Pr. Michael Grabner, University of Natural Resources and Life Sciences – BOKU, Vienna, Austria (10-15 November 2013) ;

Cour sur les éléments de dendrometrie et d’inventaire forestier par Joseph Zwaenepoel Ingénieur pensionné Tervuren, Belgique (2013) ;

Présentation de ses travaux de thèse sur la dendrochronologie des trois basin forestier (Afrique central, Asie du Sud Est et Amazonie) Peter Groenendjik doctorant University of Wageningen University and Research, Wageningen, The Netherland (2013) ;

Training course “Wood Anatomy and Tree-Ring Ecology” in Klosters Dorf, Switzerland. Organised by Landscape Dynamics/Dendroecology, Swiss Federal Research Institute WSL (13-19 December 2015) ;

Training course « R Fundamentals in Dendrochronology » Workshop - TRACE 2017 - Svetlogorsk, Russia (2-17 February 2017) ;

Participation au Fun (France Université Numérique) Mooc sur l’Anatomie du Bois. Marie-Christine Trouy *Maître de Conférences*, École Supérieure des Technologies et Industries du Bois et Laboratoire d’Étude et de Recherche sur le Matériau Bois Université de Lorraine, France (2017) ;

- Amougou Ndi Y. Achille, De Weerd Joëlle, Mbolo Marie et Beeckman Hans 2013. *Densité du bois et dendrochronologie de quelques essences forestières exploitées au Cameroun* (Poster présenté au symposium Paul Divignaud à Bruxelles).

- Amougou Ndi Y. A. Mbolo M., Beeckman H. 2015 *Tree growth and rainfall for some species using tree ring analysis in tropical rainforest Forest of Cameroon (Central Africa)* Poster présenter à la conférence international « First International Symposium on Wood Underpinning Tropical Ecology and Management » au Musée Royal D’Afrique Central Tervuren-Belgique du 26 au 29 Mai 2015.

- Amougou Ndi Y. A., De Mil T., Mbolo M., Ndongo D., Beeckman H. 2018. *Cernes de croissance et aménagement forestier : cas de trois essences commerciales exploitées au Cameroun*. (Présentation orale à la 18^{ème} conférence des parties pour le Partenariat des Forêts du Bassin du Congo au Musée Royale d’Afrique Centrale Tervuren-Belgique) ;

- Amougou Ndi Y.A., De Mil T., Mbolo M., Ndongo D., Beeckman H. 2018. *Application des cernes de croissances à l’aménagement forestier* (Présentation orale au RMCA PhD Royal Musueum of Central Africa Tervuren-Belgique Day. Le 20 novembre 2018) ;

- Amougou Ndi Y. A., Mbolo M., Beeckman H., Ndongo Din, Doucet J.-L., De Mil T. 2021. *Tree-ring analysis of timber species and sustainable forest management in Central Africa*. International Association of Wood Anatomists Journal. (under review) ;