

## Facteurs de mortalité des arbres dans la réserve de biosphère de Yangambi: Site d'ISEKELENDE (Province de la Tshopo, RD Congo)

### [ Tree mortality factors in the Yangambi biosphere reserve: ISEKELENDE site (Tshopo Province, DR Congo) ]

*O. Mbala<sup>1</sup>, L. Okungo<sup>2</sup>, D. Yenga<sup>3</sup>, B. Basosila<sup>4</sup>, and O. Lokonga<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Division Provinciale de l'Environnement et Développement Durable, Tshopo, RDC, BP 1309 Kisangani, RD Congo

<sup>2</sup>Institut Facultaire des sciences Agronomique de Yangambi (IFA-Yangambi), Département de Phytotechnie, PB 1232 Kisangani, BP 28 Yangambi, RD Congo

<sup>3</sup>Institut Facultaire des sciences Agronomique de Yangambi (IFA-Yangambi), Département des Eaux et Forêts, BP 1232 Kisangani, PB 28 Yangambi, RD Congo

<sup>4</sup>Institut Facultaire des sciences Agronomique de Yangambi (IFA-Yangambi), Département d'Economie Agricole, PB 1232 Kisangani, PB 28 Yangambi, RD Congo

<sup>5</sup>Université de Kisangani, Département de sciences biotechnologiques, BP 2012 Kisangani, RD Congo

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The knowledge of the functioning of our forest ecosystems protected is an issue of the maintenance of the planetary balance as regards its biodiversity and its climate. Its floristic dynamic apprehended by the mortality of trees, has formed the base of this study in the site of Isekelende at the biosphere reserve of Yangambi (Tshopo, D.R. Congo). Collected in a device of 6 ha, the results arising from this study have shown that the rate of tree mortality is more than 4 times higher than the tropical average. The causes differ according to the type of mortality. For the mortality on foot, the aging and the Fungal pathologies are the causes mainly observed while for the Chablis, we cannot say with statistical certainty that the frequencies and the wind speeds which are the main causes. A spatial distribution of dead trees identified highlights a relief of specific gaps. This mosaic is positively correlated to the direction of the prevailing wind of Yangambi.

**KEYWORDS:** Factors, mortality, tree, biosphere, reserve.

**RESUME:** La connaissance du fonctionnement de nos écosystèmes forestiers protégés est un enjeu du maintien de l'équilibre planétaire en ce qui concerne sa biodiversité et son climat. Sa dynamique floristique appréhendée par la mortalité des arbres, a constitué le socle de cette étude dans le site d'Isekelende, dans la réserve de biosphère de Yangambi (Tshopo, RD Congo). Recueillies dans un dispositif de 6 ha, les résultats découlant de cette étude ont montré que le taux de mortalité des arbres est plus de 4 fois supérieure à la moyenne tropicale. Les causes diffèrent selon le type de mortalité. Pour la mortalité sur pied, le vieillissement et les pathologies fongiques sont les causes principalement observées alors que pour les chablis, on ne peut dire avec certitude statistique que les fréquences et les vitesses du vent qui en sont les principales causes. Une distribution spatiale d'arbres morts identifiés met en évidence un relief des trouées particulières. Cette mosaïque est positivement corrélée à la direction du vent dominant de Yangambi.

**MOTS-CLEFS:** Facteurs, mortalité, arbres, réserve, biosphère.

## 1 INTRODUCTION

La forêt est le milieu naturel qui marque le plus haut degré d'évolution de la végétation sur la planète. La forêt vit, évolue, meurt et se régénère. La dynamique d'évolution de la forêt appréhendée sur le taux de mortalité des arbres fournit une mesure de la santé de la forêt [1].

Bien que la mortalité des arbres soit difficile à prévoir, on s'attend à ce qu'elle continue d'augmenter en raison des changements climatiques, surtout dans les régions où la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes, notamment la sécheresse, est en hausse. L'augmentation de la mortalité des arbres a une incidence sur la dynamique de l'écosystème forestier, l'approvisionnement en bois et sur le bilan de carbone [2]. L'appréhension de son seuil général au sein des forêts naturelles et protégées de la cuvette centrale congolaise traduit une idée sectorielle du phénomène dans des forêts qui composent cette cuvette. La réserve de biosphère de Yangambi est l'une de ses forêts composantes.

Les mécanismes impliqués dans la dynamique forestière sont variés, tels que les perturbations à grande échelle, chablis, substitution, renouvellement par glissement d'unités circulaires... et interviennent à des pas de temps et des échelles d'espace très différents [3].

La présente étude a été menée dans le site d'Isekelende situé dans la partie sud de la réserve de biosphère de Yangambi. Ce site a été choisi à cause de sa diversité ainsi que de sa densité floristique pour y révéler le taux de mortalité des arbres, ses causes et son impact sur les forêts de la réserve.

Il est efficace qu'un aménagement soit basé sur la connaissance de la dynamique forestière causée par des perturbations naturelles afin de monter des mécanismes appropriés à la préservation de la biodiversité et de l'intégrité écologique des forêts [4].

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette étude a été réalisée dans la réserve de biosphère de Yangambi située à 100 km à l'ouest de Kisangani, RD Congo (figure 1). La réserve couvre une superficie de 6 297 km<sup>2</sup>. Les données ont été collectées dans le site d'Isekelende, situé à la partie Sud de la réserve. Ce site constitue la zone tampon de la réserve. Dans cette zone, seule les activités de recherches, de l'écotourisme et de l'éducation environnementale sont autorisées [5].

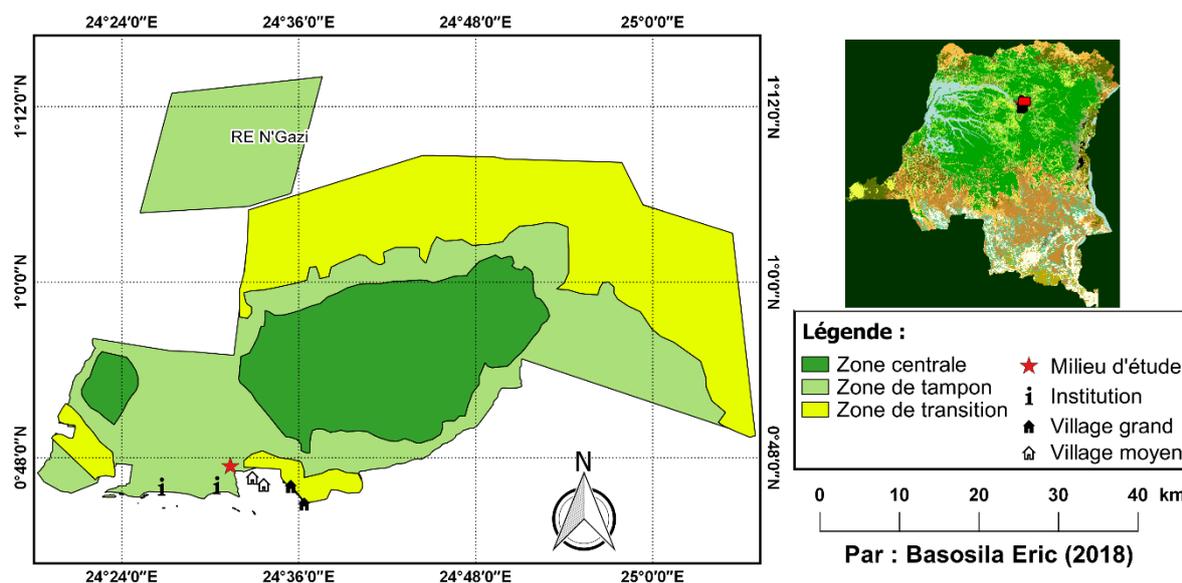


Fig. 1. Milieu d'étude et Réserve de la biosphère de Yangambi

Tel que mesuré dans la région de Yangambi, la réserve reçoit une précipitation annuelle de  $1839,5 \pm 205,7$  mm (1980-2012). La durée de la saison sèche est de  $3,3 \pm 1,3$  mois avec des précipitations mensuelles inférieures à 100 mm, en décembre-février. La température est élevée et constante tout au long de l'année avec un minimum de  $24,2 \pm 0,4$ °C en juillet et un maximum de

25,5± 0,6°C en mars. Les sols dans le plateau de Yangambi sont des ferralsols, composés principalement de sable de quartz, kaolin, d'argile et d'oxydes de fer hydratés [6].

Les méthodes ont été constituées des techniques suivantes:

- L'inventaire d'arbre (morts et vivants) de DHP  $\geq 10$  cm réalisé sur une étendue de 6 ha. Le dispositif a repris 6 parcelles de 1 ha chacune. Les données collectées des arbres morts (sur pied ou chablis) concernaient l'effectif de la population, les diamètres à hauteur de poitrine de ces arbres (DHP  $\geq 10$  cm) par le Relascope de Bitterlich [7], leurs coordonnées cartésiennes; leurs noms scientifiques. L'angle de la direction de chute des arbres été également prélevés, en cas de chablis, avec un GPS. Ceci aboutissant à l'identification des différentes directions tel que défini dans le tableau 1.
- La recherche des causes de mortalité: catégorisation des souches selon les écroulements, les pourrissements des souches, les dessèchements des tiges .... [8].
- Prélèvement climatologique sur les directions et vitesse du vent de Yangambi couvrant une période de 8 ans (de 2008-2015) dans le Programme National de Climatologie de Yangambi pour identifier l'existence ou non d'une corrélation des chutes des arbres avec le vent.

**Tableau 1.** Définition des différentes directions de chute des arbres (chablis) en fonction de la plage d'angle ( $\alpha$ ) de ladite chute

Abréviation	Signification: arbre tombé vers	Plage d'angle en degré (°)
N	Nord	$101,25 \geq \alpha > 78,75$
NNE	Nord Nord Est	$78,75 \geq \alpha > 56,25$
NE	Nord Est	$56,25 \geq \alpha > 33,75$
ENE	Est Nord Est	$33,75 \geq \alpha > 11,25$
E	Est	$11,25 \geq \alpha > 348,75$
ESE	Est Sud Est	$348,75 \geq \alpha > 326,25$
SE	Sud Est	$326,25 \geq \alpha > 303,75$
SSE	Sud Sud Est	$303,75 \geq \alpha > 281,25$
S	Sud	$281,25 \geq \alpha > 258,75$
SSO	Sud Sud Ouest	$258,75 \geq \alpha > 236,25$
SO	Sud Ouest	$236,25 \geq \alpha > 213,75$
OSO	Ouest Sud Ouest	$213,75 \geq \alpha > 191,25$
O	Ouest	$191,25 \geq \alpha > 168,75$
ONO	Ouest Nord Ouest	$168,75 \geq \alpha > 146,25$
NO	Nord Ouest	$146,25 \geq \alpha > 123,75$
NNO	Nord Nord Ouest	$123,75 \geq \alpha > 101,25$

## 2.1 VARIABLES CHOISIES

- **Diamètre:** les arbres de grand diamètre sont habituellement les plus touchés par les mortalités. L'augmentation de la hauteur avec le diamètre expose ces individus aux vents plus sévères qui sévissent à plus haute altitude, les rendant ainsi plus vulnérables [9].
- **Densité du peuplement:** la quantité de dommage d'un peuplement est inversement corrélée à sa densité. Les peuplements plus denses ont une meilleure capacité à dissiper le vent et ne permettent pas au vent de pénétrer dans le peuplement [10].
- **L'intensité de la perturbation:** L'un des premiers facteurs à examiner pour comprendre la vulnérabilité aux chablis est la vitesse du vent (intensité), facteur fortement corrélé au taux de chablis durant une tempête (sévérité). La force appliquée à l'arbre augmente avec la vitesse du vent: plus la vitesse du vent est élevée et plus grand sera le nombre d'individus qui dépasseront leur moment critique et qui casseront ou déracineront [10].
- **Direction du vent:** À vitesse égale, des vents provenant de directions non habituelles peuvent causer plus de dommage que des vents dominants. Les individus exposés à des vents qui proviennent relativement de la même direction s'adaptent à ces conditions [11].

## 2.2 ANALYSES DES DONNÉES

Les données ont permis de calculer la surface terrière (ST), surface de la trouée créée, la densité du peuplement (DP) selon les expressions de Malaise [12]:

$$DP = \frac{Ep}{1ha}; ST = \pi \frac{(DBH)^2}{4}; Stc = 2ST; Stp = ST.$$

Avec Ep (effectif de la population), DBH (Diameter Breast Height correspondant du diamètre à hauteur de poitrine, DHP),  $\pi$  (3,14), Stc (surface de la trouée créée par chablis) et Stp (surface de la trouée créée par la mortalité sur pied). La Stc est considérée comme le double de la surface terrière au fait de la mise en place de deux trous après un chablis.

Les données recueillies ont été saisies sur le tableur Excel pour faciliter les traitements et la construction des graphiques. Le logiciel R Studio (version 3.4.3) a permis de réaliser les statistiques descriptives, le test t de Student et l'analyse de variance et de corrélation de Pearson. Dans le cadre de la présente étude, la significativité des résultats est jugée au seuil d'erreur de 5 % ( $p \leq 0,050$ ). Le logiciel QGIS (version 2.18.18) nous a permis de réaliser les différentes cartes présentées dans ce travail.

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 CARACTÉRISTIQUES DES PEUPEMENTS

**Tableau 2.** Caractéristiques des peuplements: nombre d'individus, taux de mortalité des arbres (par chablis et sur pied) (%), densité de la population (nombre d'individus/ha), DBH moyen (cm) et nombre d'individus morts classés dans leurs espèces respectives

	Total des arbres	Arbres mort	Chablis	Morts sur pied
No. d'individus	2 906	140	28	112
Taux (%)	100,00	4,81	0,96	3,85
Densité (no. d'individus/ha)	484	23	5	19
Diamètre moyen (cm)		33,6±19,5	41,1±20,6	31,7±18,9
<b>Espèces identifiées:</b>				
<i>Panda oleasa</i>		4	0	4
<i>Scorodophleus zenkeri</i>		3	1	2
<i>Diospyros bipendense</i>		2	0	2
<i>Pterocarpus soyauxii</i>		2	1	1
<i>Annonidium mannii</i>		1	0	1
<i>Cola gigantea</i>		1	1	0
<i>Hannoa klaineana</i>		1	0	1
<i>Klainedoxa gabonensis</i>		1	0	1
<i>Polyalthia suaveolens</i>		1	0	1
<i>Vitex welwischii</i>		1	0	1
Non identifiée		123	3	14

Le site d'Isekelende recouvre 2 906 arbres de DHP  $\geq 10$  cm. Un taux de mortalité d'arbre de 4,81 % est révélé. Les chablis couvrent 20 % de mortalité (0,96/4,81) contre 80 % des morts sur pieds (3,85/4,81). Chaque ha renferme en moyenne, 23 arbres morts pour 5 chablis et 19 morts sur pieds. 17 individus sur 140 ont été identifiés: 14 d'entre eux étaient des arbres morts sur pieds. Ainsi, *Panda oleasa* suivi du *Scorodophleus zenkeri*, *Diospyros bipendense* et *Pterocarpus soyauxii* étaient les espèces les plus identifiées. Les arbres affectés par les chablis ont des DBH moyens (41,1±20,6 cm) significativement supérieurs à ceux des arbres morts sur pieds (31,7±18,9 cm) ( $t = 2,333$ ;  $p = 0,021$ ). La figure 2 met en évidence cette différence.

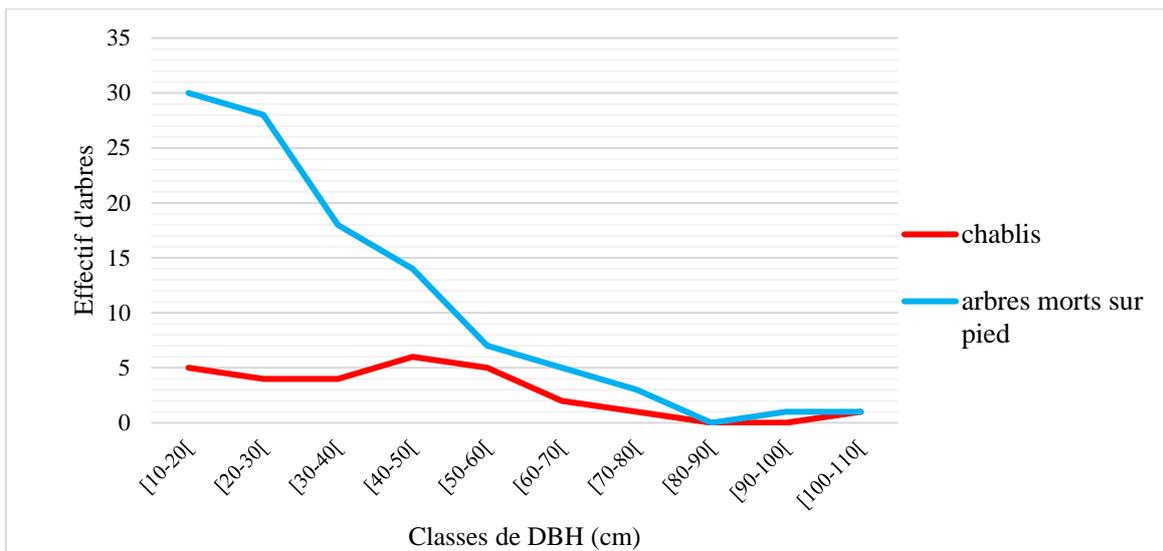


Fig. 2. Types de mortalité des arbres: évolution de nombre d'individus morts en fonction des DBH

En effet, il se dégage de la figure 2 que l'effectif des arbres morts sur pieds diminue rapidement quand le diamètre augmente alors que les arbres affectés par les chablis n'affichent qu'une diminution moins importante à partir de diamètres  $\geq 60$  cm. Plus de la moitié des cas de mortalité concernent les individus de DBH compris entre 10 cm et 40 cm.

### 3.2 PERTES EN SURFACES TERRIÈRE ET EN COUVERT FORESTIER

La figure 3 illustre que les 140 individus morts identifiés dans cette étude totalisent  $16,5 \text{ m}^2$  ( $11,9 \text{ m}^2 + 4,6 \text{ m}^2$ ) de surface terrière pour les 6 ha étudiées, soit 0,03 % de la surface totale. Ce résultat entraîne une trouée dans la forêt équivalente à une surface de  $21,1 \text{ m}^2$  ( $9,2 \text{ m}^2 + 11,9 \text{ m}^2$ ).

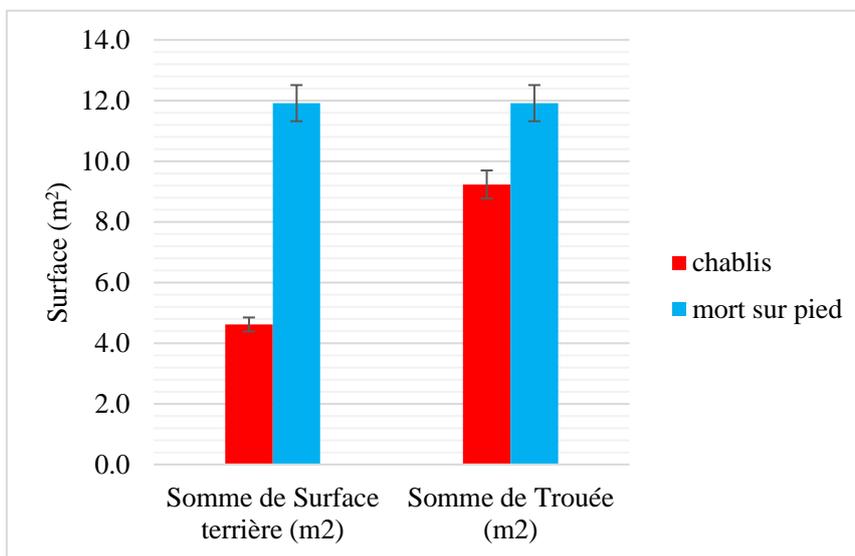


Fig. 3. Perte en surface terrière (m²) et du couvert forestier (m²)

On peut remarquer, bien que la proportion des chablis identifiée soit moins importante que celle des arbres morts sur pieds, l'analyse de la trouée créée n'indique qu'une faible différence entre ces deux types de mortalités. Cela est dû à la faculté des chablis de créer plus de trouées que les arbres morts sur pied. Ainsi, le chablis se voit avoir une grande influence sur la création des trouées dans la forêt, sur la mosaïque forestière et sur le cycle sylvogénétique.

Le point suivant analyse quelques facteurs pouvant influencer la mortalité des arbres.

### 3.3 FACTEURS FAVORISANT LA MORTALITÉ DES ARBRES

#### 3.3.1 FACTEURS FAVORISANTS LE CHABLIS

La figure 4 présente et analyse les résultats des indicateurs définis. Excepté la direction ENE, SSO et NNO, les chablis ont été identifiés dans toutes les autres directions.

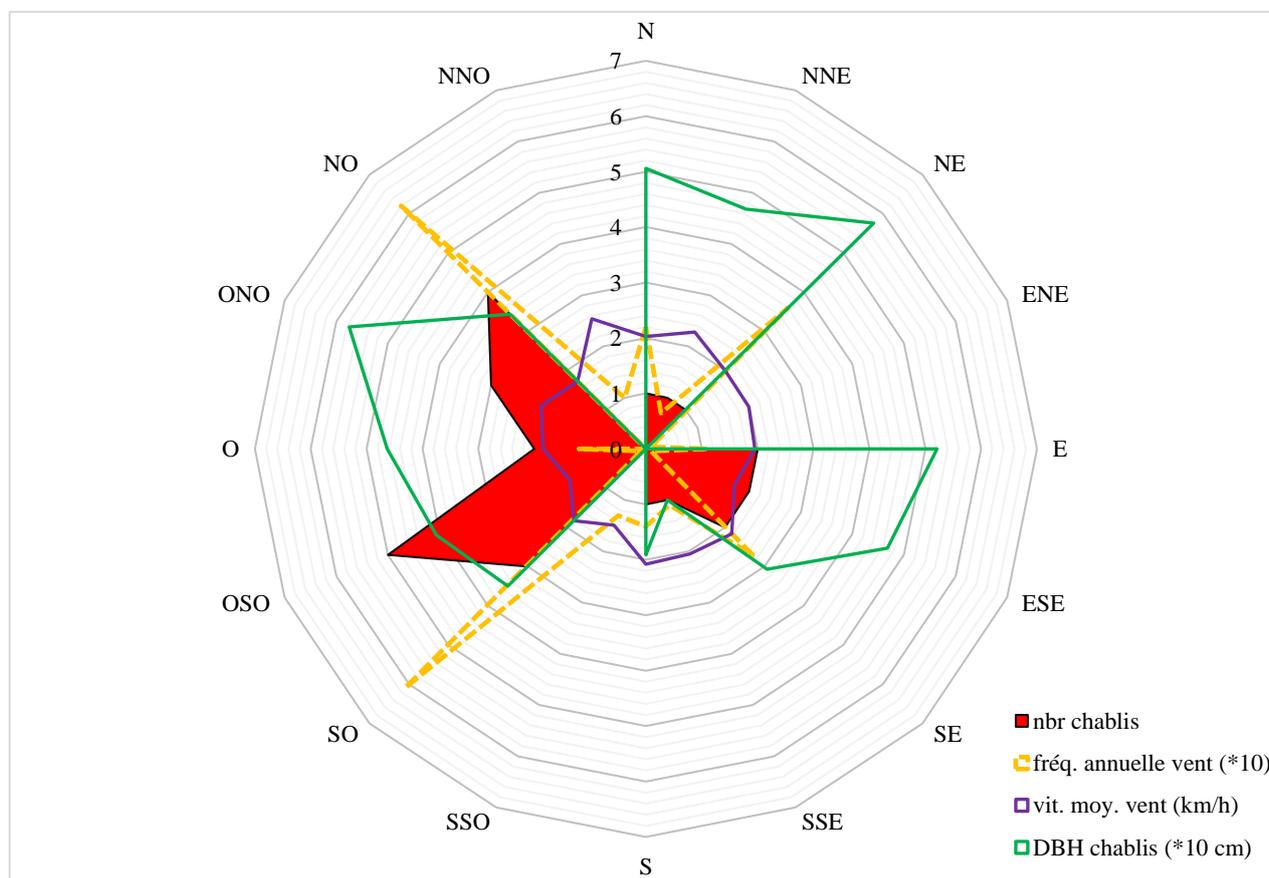


Fig. 4. Nombre de chablis, diamètre des chablis, fréquence annuelle et vitesse moyenne du vent de Yangambi en fonctions des différentes directions

L'analyse de la figure 4 révèle que les arbres avaient plus tendance à tomber vers l'Ouest. En effet, ils avaient tendance à tombés plus vers la direction OSO (5 arbres) suivi de NO (4 arbres), ONO (3 arbres) et O (2 arbres). Le vent également a eu tendance à prendre la direction Ouest, où il a une fréquence annuelle de 62 jours vers NO suivi de 61 jours vers SO. L'analyse de corrélation indique que les directions de chute des arbres (chablis) sont liées à 28,9 % à la fréquence annuelle des vents de Yangambi ( $r = 0,289$ ;  $p = 0,277$ ).

Par contre, en lisant la vitesse du vent illustré par la même figure, la direction Nord est le plus réputé avec les vents relativement élevé avec une vitesse moyenne de 2,54 km/h pour NNO suivi de 2,28 km/h pour NNE. Les vents relativement les plus faibles sont identifiés vers la direction OSO (1,47 km/h) et SSO (1,49 km/h). L'analyse de la variance des vitesses moyennes de ces différentes directions indique que le vent a la même vitesse dans toutes les directions ( $F = 0,621$ ;  $p = 0,851$ ).

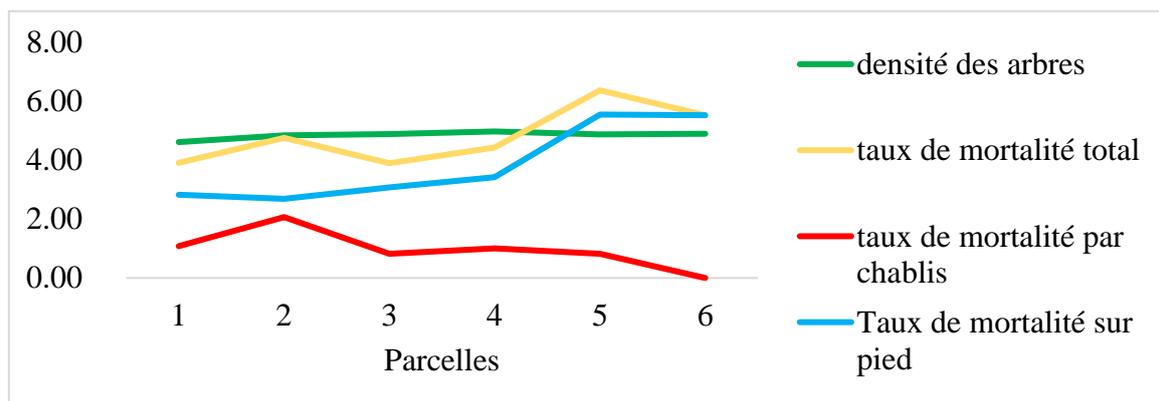
Les arbres ayant de plus gros DBH avaient tendance à tomber dans toutes les directions, sauf vers la direction Sud où on observe que des arbres de petite DBH. L'analyse de corrélation stipule que la chute des arbres de différentes DBH n'est liée significativement ni à la fréquence moyenne du vent ( $r = -0,151$ ;  $p = 0,622$ ), ni à sa vitesse moyenne ( $r = -0,082$ ;  $p = 0,789$ ). Par son coefficient de corrélation négative, le constat est que le vent (de grande vitesse et/ou de grande fréquence) a plus tendance à être lié à la chute des arbres de petite DBH, bien que moins significativement

Des causes probables de mortalité évoquées et analysées ci-dessus peuvent s'ajouter, avec les observations faites, le poids de la cime (figure 5) et le vieillissement de l'arbre.



**Fig. 5. Chablis multiples pour cause probable: le poids de la cime**

Quant à l'influence de la densité du peuplement sur la mortalité des arbres, la figure 6 accompagné des analyses des corrélations, indique que la mortalité des arbres en générale (a) (qu'il soit par chablis (b) ou sur pied (c)) n'est pas significativement liée à la densité du peuplement dans notre étude { (a) [ $r = 0,344$ ;  $p = 0,504$ ]; (b): [ $r = -0,194$ ;  $p = 0,712$ ]; (c): [ $r = 0,349$ ;  $p = 0,497$ ] }.



**Fig. 6. Analyse des corrélations entre la densité du peuplement ( $10^2$  arbres) et la mortalité des arbres et ses différents types**

### 3.3.2 FACTEURS FAVORISANT LA MORTALITÉ SUR PIED

L'appréciation des facteurs influençant la mortalité des arbres sur pieds a été évaluée empiriquement par des méthodes d'observations. Elles peuvent être subjectives certes, mais elle donne une idée sur les causes probables. Les résultats desdites observations ont révélé que la mortalité sur pied aurait pour causes, le vieillissement de l'arbre (figure 7) et certaines pathologies dues à la colonisation des arbres par les champignons et certaines algues (figure 8).



*Fig. 7. Mort sur pied pour cause: vieillissement de l'arbre*



*Fig. 8. Mort sur pied pour cause: champignons*

### **3.4 DISTRIBUTION SPATIALE DE LA MORTALITÉ DES ARBRES**

La distribution spatiale des arbres morts sur pieds et par chablis est illustrée par la figure 9. L'analyse globale de cette figure affiche une distribution des arbres morts un peu particulière. En effet, nous pouvons lire des couloirs parallèles des arbres morts prenant la direction NE-SO dans les six parcelles de 1 ha chacune. La parcelle située au coin NE (coin supérieur droit sur la figure) n'a pas enregistré des chablis.

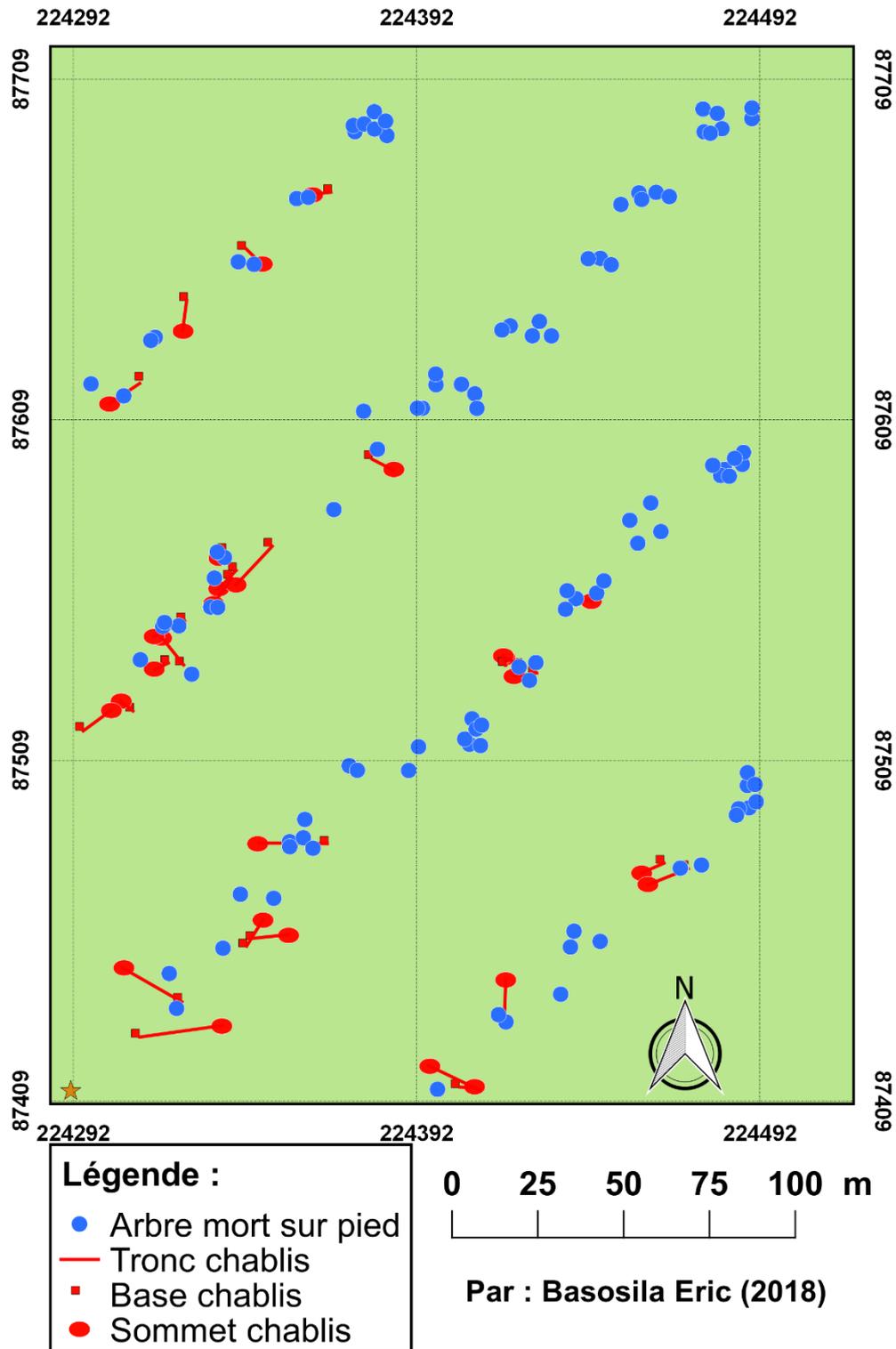


Fig. 9. Distribution spatiale de la mortalité des arbres

#### 4 DISCUSSIONS

Le taux de mortalité moyenne estimé dans le site d'Isekelende est de 4,81 %, ce qui est largement supérieur à la moyenne de 1 % estimée en forêts tropicale [13]. Ces mortalités étaient plus sur pieds (3,85 %) que par chablis (0,96 %).

Excepté les résultats de Manka (2010) dans une forêt au sud-ouest de Québec (Témiscamingue, Canada), caractérisé par une grande diversité des perturbations, où on affiche des taux de mortalité largement inférieur à celui observé dans cette étude à Isekelende. En effet, ce taux est estimé à 0,82% dans la forêt dense humide sempervirente de l'Uppangala en Inde [14], à 0,98 % en Guyane Française [15]. Toutefois, quelques estimations faites dans certaines études approchent celle de notre étude, notamment celle de [16] à Pasoh en Malaisie (1,48 %) et à Barro Colorado Island au Panama (2,03 %). [17] trouvent plus tard des taux de mortalité compris entre 1,04% (à Pasoh, Malaisie) et 17,06% (à Mudumalai, forêt sèche du sud de l'Inde) pour les juvéniles de moins de 10 cm de DBH.

Des épisodes de mortalité et de dépérissement des forêts à grande échelle sont survenus après des vagues de sécheresse et de chaleur importantes, souvent accompagnées d'infestations d'insectes et d'éclotions de maladies. Cependant, l'interaction entre la variation climatique et les processus écologiques forestiers est complexe et il est difficile d'établir si les changements climatiques sont la seule cause de l'augmentation de la mortalité [2]. C'est dans ce sens que nous avons utilisé plusieurs indicateurs (biotique et non) pour tenter d'identifier la cause de cette forte mortalité à Isekelende.

Les résultats de notre étude indiquent une tendance générale selon laquelle les taux de mortalité baissent progressivement en fonction des classes de diamètre inférieures vers les classes supérieures.

Les mortalités (chablis et sur pied) identifiées ne sont pas significativement liés à l'ensemble d'indicateurs étudiés, bien qu'elles soient liées à près de 30 % à la fréquence annuelle du vent et à 34 % par la densité du peuplement. Nous pensons que les faibles corrélations entre chablis et vitesse du vent seraient dues au fait que les données climatiques utilisées dans cette étude concernent le milieu de Yangambi d'une façon globale. Cette réalité soutient l'idée que le site d'Isekelende pourrait profiter d'un microclimat. En outre, nous pensons que les autres indicateurs non pris en compte dans cette étude telle que la pluviométrie, les facteurs pédologiques, la topographie, la hauteur des arbres et les pathologies pourraient aussi avoir d'influences significatives sur la mortalité des arbres.

La cartographie des individus d'arbres morts nous présente une distribution en agrégats assez particuliers. Ces agrégats sont composés à leur tour des groupuscules d'individus morts suivant une courbe linéaire et parallèle, mais en position diagonale par rapport au dispositif adopté. Cette courbe s'est allongée relativement à la direction du vent dominant à Yangambi (NNE), soit du NE-SO.

## **5 CONCLUSION ET SUGGESTIONS**

La présente étude avait pour but de contribuer à l'étude facteurs de mortalités des arbres à Yangambi (Tshopo, R.D. Congo), dans son site d'Isekelende. Les mortalités par chablis et sur pieds étaient particulièrement analysées. Les données recueillies provenaient d'un dispositif de 6 ha repartis en 6 parcelles de 1 ha chacune. La population d'arbres inventoriée (vivant ou mort) avec au moins 10 cm de DBH était de 2 906 individus. Un taux de mortalité supérieure à la moyenne des forêts tropicales a été identifié (4,81%). Pour les chablis, seule la fréquence du vent est le facteur principal qui a influencé cette mortalité (avec un risque d'erreur de 28 %) contre les autres facteurs étudiés qui n'ont eu que d'influences mineures. Alors que pour la mortalité sur pied, les observations ont indiqué que le vieillissement et les attaques fongiques sont les causes les plus probables. Une distribution spatiale d'arbres morts identifié met en évidence un relief des trouées particulières. Cette mosaïque est positivement corrélée à la direction du vent dominant de Yangambi.

Une étude approfondie de la dynamique forestière doit être menée dans cette réserve avec un dispositif permanent mettant en relief l'influence des facteurs biotiques (diamètre, hauteur, âge, densité du bois, espèce, ...) et abiotiques (tous du micro et macroclimat de Yangambi: fréquence, direction et vitesse du vent, pluviométrie, ...; mais aussi de l'environnement: pédologie, topographie, ...).

Ces dimensions d'étude pourront compléter les résultats actuels sur la mortalité remarquable des arbres de la forêt d'Isekelende, et enfin, aideront à chercher des solutions précises de lutte contre ce fléau.

## **REFERENCES**

- [1] Forêt Sans Age. (s.d.). Dynamique forestière. Consulté le Novembre 2017, sur Forêt d'Ordogne: <http://www.foretdordogne.fr/la-foret-perigourdine/ecologie-forestiere/dynamique-forestiere>.
- [2] Gouvernement Canadien. (2017, Août 16). Mortalité des arbres. Consulté le Janvier 2018, sur Ressources Naturelles Canadiennes: <http://www.mcan.gc.ca/forets/changements-climatiques/changements-forestiers>.
- [3] Pascal, J.-P. (1995). Quelques exemples de problèmes posés à l'analyste et au modélisateur par la complexité de la forêt tropicale humide. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)* (50), 237-249.

- [4] Manka, F. (2010). Effet du chablis sur la dynamique des peuplements forestiers mixtes. Montréal: Université du Québec à Montréal.
- [5] Toirambe, B., Mukinzi, J.-C., Onotamba, P., & Solia, S. (2010). Conduite d'une évaluation de départ de la situation de biodiversité, des impacts des pressions anthropiques sur les ressources naturelles et de la gouvernance environnementale de la Réserve de biosphère de Yangambi. Kisangani: WWF.
- [6] Kearsley, E., Verbeek, H., Hufkens, K., Van de Perre, F., Doetterl, S., Baert, G.,... Hyegens, D. (2017). Functional community structure of African monodominant Gilbertiodendron dewevreiforest influenced by local environmental filtering. *WELEY: Ecology and Evolution*, 295-304.
- [7] Parde, J., 1981. Dendrométrie. Edition de l'école nationale des Eaux et Forêts de Nancy, paris 300P.
- [8] Mbala, O., 2016. Contribution à l'étude de la dynamique forestière dans la réserve de yangambi: cas des arbres morts dans le site d' isekelende (province de la tshopo, R.D.Congo). 49P.
- [9] Foster, D. (1988). Species and stand response to catastrophic wind in central New England, U.S.A. *The Journal of Ecology* (76), 135-151.
- [10] Everham, E., & Brokaw, N. (1996). Forest damage and recovery from catastrophic wind. *The Botanical Review* (62), 113-185.
- [11] Wilson, B., & Archer, R. (1979). Tree design: some biological solutions to mechanical problems. *BioScience*, 293-298.
- [12] Malaise, F., 1984. Contribution à l' étude de l'écosystème de forêt dense sèche (mahulu): structure d'une foret sèche zambézienne des environs de lubumbashi. *Bull. Sec. Roy. Bot. Belge* 117: 428- 458.
- [13] Durrieu de Madron, L. (1993). Mortalité, chablis et rôle des trouées dans la sylvigénèse avant et après exploitation sur le dispositif d'étude sylvicole de Paracou - Guyane française. Thèse de doctorat.
- [14] Madelaine-Antin, C. (2009). Dynamique des peuplements forestiers tropicaux hétérogènes: variabilité inter et intraspécifique de la croissance des arbres et trajectoires de développement en forêt dense humide sempervirente. Montpellier: Université Montpellier 2 – Montpellier SupAgro, Thèse de Doctorat.
- [15] Delcamp, M. (2007). Groupes "fonctionnels" d'espèces et prédiction de la dynamique des peuplements d'arbres après perturbation en forêt dense tropical humide: exemple en Guyane française. Université Montpellier 2 - Montpellier SupAgro, Thèse de doctorat.
- [16] Condit, R., Ashton, P., Manokaran, N., LaFrankie, J., Hubbell, S., & Foster, R. (1999). Dynamics of the forest communities at Pasoh and Barro Colorado: comparing two 50-ha plots. *Biological Sciences* (354), 1739-1748.
- [17] Condit, R., Ashton, P., Bunyavejchewin, S., Dattaraja, H., Davies, S., Esufali, S.,... T, Z. (2006). The importance of demographic niches to tree diversity. *Science* (313), 98-101.
- [18] Madelaine-Antin, C., Pélissier, R., Vincent, G., Molino, J.-F., Sabatier, D., Prévost, M.-F., & Namur, C. (2007). Mortality and recruitment in a lowland tropical rain forest of French Guiana: effects of soil type and species guild. *Journal of Tropical Ecology* (23), 277-287.