

Rapport de projet

Constitution d'un échantillon dans le cadre d'une
étude sur la lianescence de *T. Melinonii*

Dorian Frieden
Marianne Le Corre
Benoît Loussier
Carmen Weißkopf

Encadrement : Gaëlle Jaouen
Meriem Fournier

<u>I</u>	<u>INTRODUCTION.....</u>	<u>3</u>
<u>II</u>	<u>MATERIEL ET METHODE.....</u>	<u>5</u>
II.1	ZONES D’ETUDE	5
II.2	INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES INDIVIDUS	5
II.2.1	PROTOCOLE DE MESURE	5
II.2.2	DESCRIPTION DE L’ECHANTILLON : ALLOMETRIES ET AUTOPORTANCE	6
II.3	ANALYSE DES DONNEES ET CONSTITUTION DES COUPLES D’INDIVIDUS	7
II.4	L’ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)	8
II.5	LE TREE-CLUSTERING	9
<u>III</u>	<u>DESCRIPTION INITIALE DE L’ECHANTILLON</u>	<u>10</u>
III.1	DESCRIPTION GENERALE.....	10
III.2	DISTRIBUTION DES DONNEES	10
III.3	COMPARAISON AVEC D’AUTRES ECHANTILLONS.	12
III.4	REPRESENTATIVITE DE L’ECHANTILLON ET UTILITE POUR L’ETUDE.....	14
<u>IV</u>	<u>CONSTITUTION DES COUPLES D’ARBRES POUR L’EXPERIMENTATION.....</u>	<u>15</u>
IV.1	CHOIX DES PARAMETRES DESCRIPTIFS UTILISES.	15
IV.1.1	UTILISATION DE L’ACP :	15
IV.1.2	UTILISATION DU <i>TREE-CLUSTERING</i>	19
IV.2	CONSTITUTION DES COUPLES D’INDIVIDUS.	19
<u>V</u>	<u>CONCLUSION.....</u>	<u>21</u>
<u>VI</u>	<u>ANNEXES</u>	<u>22</u>
VI.1	LISTE DES COUPLES D’ARBRES	22
<u>VII</u>	<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>	<u>23</u>

I INTRODUCTION

La forêt tropicale humide présente, en regard des forêts tempérées, de multiples particularités, parmi lesquelles la diversité des espèces présentes, la hauteur et la densité du peuplement. Celles-ci ont pour conséquence une forte atténuation de la luminosité, de telle sorte qu'elle ne représente en moyenne au niveau du sol plus que 1% de la lumière incidente (Bazzaz et al. cité par (Barigah, Imbert et al. 1998). Si ces conditions sont favorables au développement des jeunes plantes d'espèces sciaphiles, elles ne permettent pas en revanche aux juvéniles d'espèces héliophiles d'avoir un développement optimal.

Dans ces conditions, certaines espèces héliophiles (dites « persistantes ») (Favrichon 1995) peuvent adopter des stratégies d'attente de conditions plus favorables, comme la formation d'un chablis. D'autres en revanche sont incapables d'attendre (les « héliophiles stricts ») et il leur faut atteindre au plus vite des étages plus lumineux. Pour y parvenir ces plantes doivent réaliser un habile compromis : croître en hauteur tout en conservant un soutien nécessaire à leur stabilité.

L'analyse des différentes espèces héliophiles selon ces critères d'autoportance amène à distinguer deux types de comportements. Celui des lianes, épiphytes et héliophytes consiste à se servir d'autres arbres comme support, et à monter dans les étages par des systèmes d'accrochage. Elles n'ont donc pas besoin d'assurer leur propre soutien. Il n'en va pas de même des arbres, qui croissent tout en fabriquant les structures de soutien nécessaires.

De nombreuses études ont été réalisées sur la stabilité des végétaux, avec notamment l'introduction des concepts de hauteur critique et de facteur de risque (Greenhill 1881). La hauteur critique d'un individu donné est la hauteur maximale que l'individu pourrait avoir sans s'effondrer sous son poids propre, à diamètre égal (à la base) et qualité de bois donnée (densité et rigidité). Le facteur de risque de l'arbre est alors défini comme le rapport de sa hauteur réelle et de sa hauteur critique : si $RF < 1$, on dit que l'arbre est autoportant, sinon il n'est plus en mesure d'assurer sa propre stabilité. Des études sur l'évolution de ces paramètres en fonction du stade de développement des arbres ont été menées (Sterck and Bongers 1998) et aboutissent en forêt tropicale dense au résultat suivant : le facteur de risque croît lors des premières phases de développement, puis diminue jusqu'à se stabiliser au stade adulte. Le facteur de risque passe par un maximum lorsque l'arbre est au stade de juvénile (DBH de l'ordre du cm) : sa prise de risque est alors maximale et correspond au moment où l'individu doit « trouver sa place » au sein du peuplement.

Lors d'une précédente expérience (Gaëlle Jaouen *comm. pers.*), il a été remarqué que *Tachigali melinonii* (Ceasalpinaceae), qui rentre dans la catégorie des héliophiles stricts, avait tendance, outre une forte prise de risque dans sa croissance en hauteur (*ie* un RF « grand »), à prendre appui tel une liane sur ses congénères. Ce comportement « lianescent » a été confirmé par des mesures de facteur de risque, qui est dans ces cas de lianescence supérieur à 1. L'hypothèse a donc été avancée que *T. melinonii* tirerait profit d'un support disponible pour abandonner la création de structures de soutien, au profit de sa croissance en hauteur ; on parle alors de réactions thigmomorphogénétiques (modification de la croissance par contact physique d'un végétal avec un élément extérieur ou un autre végétal). C'est pour tester cette hypothèse qu'a été lancée une étude dont le principe est le suivant : pour un grand nombre de couples de *T. melinonii* deux à deux « équivalents » (dans un sens qui sera défini), tuteur l'un des arbres et déterminer ultérieurement si la présence du tuteur a eu une influence significative sur le mode de développement des arbres (principalement en termes de vigueur et de croissance).

Dans le cadre de cette étude, l'objectif de notre projet était de constituer les couples de *T. melinonii* qui seront suivis régulièrement tout au long de l'étude.

Dans un premier temps nous présenterons les matériels et méthodes utilisés au cours de ce travail. Ensuite nous exposerons, dans une première partie, des éléments de description générale de notre échantillon, notamment en ce qui concerne l'autoportance et la vigueur des individus. Nous poursuivrons, en deuxième partie, par les résultats de l'analyse des données et la constitution des couples d'arbres. Enfin nous conclurons et discuterons l'ensemble des résultats.

II Matériel et méthode

II.1 Zones d'étude

L'étude a été menée en Guyane française sur deux zones distinctes : le bloc Sud du dispositif expérimental de Paracou (5°03'N, 52°08'W), non loin de Sinnamary, et l'entrée de la route de Petit Saut (barrage EDF), située en bordure de la route nationale n°1 à environ 10 km du premier site. Ces deux zones ont été choisies d'une part en raison d'une densité importante de *T. melinonii*, d'autre part parce qu'elles présentent une large gamme de climats lumineux (PAR compris entre 3 et 2430 $\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, avec une moyenne de 217 $\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Les mesures ont eu lieu au mois de septembre 2004, en saison sèche.

II.2 Inventaire et description des individus

II.2.1 Protocole de mesure

La première étape du travail a été de repérer et de décrire tous les individus *T. melinonii* de hauteur comprise entre 65cm et 4,50m rencontrés au hasard de notre cheminement dans les zones d'étude.

Pour chaque individu nous avons appliqué le protocole suivant :

1. repérage de l'arbre par rapport au précédent rencontré, par azimuth et distance
2. mesure des grandeurs suivantes :
 - a. paramètres de taille
 - i. hauteur
 - ii. circonférence à 20cm (transformée en diamètre à 20cm)
 - iii. circonférence à 130cm (transformée en diamètre à 130cm)
 - b. paramètres de vigueur
 - i. positions des dix derniers nœuds (donnant la longueur des dix derniers entrenœuds, dont on utilise la moyenne)
 - ii. nombre de feuilles sur les dix derniers nœuds
 - iii. nombre de ramifications sur les dix derniers nœuds
 - iv. nombre de morts d'apex sur les dix derniers nœuds
 - v. état de l'apex (vivant / sec ou cassé)
 - vi. nombre de feuilles en formation sur l'apex
 - c. paramètres architecturaux
 - i. présence de gourmands
 - ii. présence de ramification(s) séquentielle(s)

- d. paramètres environnementaux
 - i. « blocage » ou distance du couvert (moins de 6m / plus de 6m / pas de couvert)
 - ii. éclaircissement (« PAR » ou Rayonnement Actif pour la Photosynthèse en $\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)

Notons que nous utilisons ici des grandeurs classiques pour caractériser l'état de vigueur et la forme architecturale.

Par ailleurs la mesure du PAR n'a pas été faite directement ; nous avons réalisé des mesures avec un appareil de type « LAI léger » (Cournac, Dubois et al. 2002), qui est une résistance dont la valeur varie en fonction de l'éclaircissement d'une cellule. Les valeurs recueillies en kOhms ont par la suite été transformées en valeurs de PAR à l'aide d'une relation établie avec un référence au laboratoire de l'UMR EcoFoG (Guyane française).

Nous avons inventorié 107 arbres au total, dont 57 à Paracou et 50 à Petit Saut. Ce nombre devait nous permettre, par l'élimination d'individus sans « homologue », d'obtenir une trentaine de couples « corrects ».

II.2.2 Description de l'échantillon : allométries et autoportance

Avant de se pencher sur la constitution des couples, nous avons procédé à une analyse générale de notre échantillon en termes de croissance et de stabilité mécanique.

Nous nous sommes pour cela appuyés d'une part sur les allométries hauteur-diamètre (représentation de la relation hauteur=f (diamètre) pour un ensemble d'arbres), d'autre part sur les concepts de hauteur critique et de facteur de risque.

En ce qui concerne les allométries, nous avons pu comparer nos résultats avec ceux établis par (Rich, Helenurm et al. 1986) au Costa Rica , ainsi qu'avec ceux établis sur un autre ensemble de *T. melinonii* lors d'une précédente étude menée à Paracou.

Quant à la hauteur critique (définie dans l'introduction), nous avons choisi de la calculer avec la formule de Greenhill-Euler (1881) :

$$H_{critique} = 0,792.(E/\rho)^{1/3}D^{2/3}$$

Où :

- 0,792 est une constante pour tous les arbres (McMahon 1973)
- E est le module d'Young ou d'élasticité du bois,
- ρ est la masse volumique du bois,
- D est le diamètre de l'arbre à la base, mesuré à 20cm du sol.

Nous avons utilisé comme valeurs de E et ρ des valeurs mesurées par Gaëlle Jaouen sur d'autres *T. melinonii* de Paracou, provenant de milieux semblables. Le module d'élasticité longitudinal a été mesuré sur des tronçons par la méthode Bing 2000 du Cirad Forêt et la masse volumique par découpage et pesée des arbres détruits et calcul de leur volume. E est donc pris à 10910 MPa et ρ à $0,835 \text{ g.cm}^{-3}$.

Le facteur de risque (ou *risk factor*) a été calculé à partir de $H_{critique}$ de la façon classique suivante :

$$RF = H/H_{critique}$$

Ainsi un arbre pour lequel $RF > 1$ a dépassé sa hauteur critique, il n'est donc plus autoportant : soit il est tombé au sol, soit il se maintient « debout » en s'appuyant sur un support.

Notons que l'on peut également utiliser le facteur de sécurité ou *safety factor* qui est l'inverse du facteur de risque.

II.3 Analyse des données et constitution des couples d'individus

Afin de constituer des couples d'arbres, nous avons cherché dans un premier temps à éliminer les paramètres redondants parmi l'ensemble des caractères mesurés.

Pour cela nous avons procédé à une Analyse en Composantes Principales ou ACP (cf encart), sur le logiciel STATISTICA, qui nous a permis d'éliminer : le diamètre à 130cm (redondant avec le diamètre à 20cm et la hauteur), le nombre de feuilles en formation sur l'apex (redondant avec l'état de l'apex et présentant peu de variabilité) et le blocage (distance au couvert), qui ne présente pas une variabilité importante et est moins précis que les mesures de lumière que nous avons réalisées.

Dans un deuxième temps, forts de cette réduction du nombre de variables, nous avons procédé à une autre analyse multivariée : le *tree-clustering* (cf encart), toujours avec STATISTICA. Cette analyse nous a permis de regrouper les individus en couples avec comme critère de similitude la distance euclidienne entre les arbres dans l'espace (à 10 dimensions) des variables restantes. Notons que ces variables avaient été préalablement centrées-réduites afin d'éviter tout effet d'échelle.

Nous avons ainsi abouti à la création de 32 couples, et avons pour chacun d'eux vérifié la « ressemblance » sur l'ensemble des 10 critères retenus.

II.4 L'Analyse en Composantes Principales (ACP)

1. Quand faire une ACP ?

L'ACP est une méthode statistique qui permet d'obtenir une représentation simplifiée et pertinente d'un ensemble de points situés dans un espace de dimension $n > 3$ (typiquement ces points représentent des objets pour lesquels on a mesuré n grandeurs, appelées variables).

2. Principe de l'ACP

Considérons que les données (les valeurs des n variables pour chacun des objets) aient été préalablement centrées et réduites (moyenne nulle et écart-type 1 pour chaque variable) : le centre de gravité du nuage de points est alors situé à l'origine du repère. La variabilité V_{tot} du nuage est donc égale à la somme des carrés des distances de chaque point à l'origine. C'est également la somme des n variabilités V_i de chaque axe, la variabilité d'un axe étant définie comme la somme des carrés des distances à l'origine des projections de chaque point sur cet axe (application du théorème de Pythagore).

L'ACP consiste alors en une rotation du repère (autour de l'origine) telle que le nouveau repère présente les propriétés suivantes :

- le premier axe (appelé première composante principale) a une variabilité V_1 maximale (ie c'est la direction selon laquelle les points sont les plus dispersés),
- le deuxième axe (appelé deuxième composante principale), une fois le premier défini, a une variabilité V_2 maximale,
- etc... on définit de cette façon les $n-1$ premiers axes, et on n'a plus le choix pour le dernier.

3. Interprétation et utilisation

Les axes du nouveau repère (appelés *facteurs* 1, 2, ..., n), qui sont des combinaisons linéaires des variables de départ, sont construits de telle façon que l'essentiel de la variabilité du nuage de points apparait le long des premiers axes. Une projection du nuage de points sur l'espace formé par les deux ou trois premiers facteurs (en 2D ou en 3D) permet donc de visualiser le nuage en perdant le moins d'information possible sur sa structure.

Par ailleurs l'analyse de la projection des vecteurs unitaires de départ sur l'espace de visualisation permet d'évaluer les corrélations entre les variables et de voir dans quelle mesure la dispersion selon ces anciens axes est bien représentée dans la projection obtenue.

II.5 Le *tree-clustering*

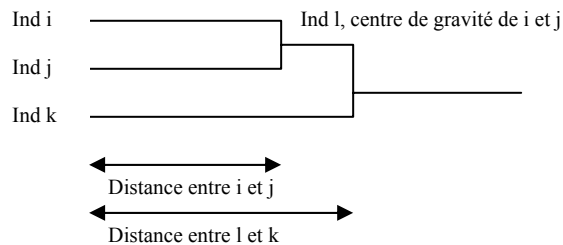
Le *tree-clustering* (ou regroupement arborescent) est une technique d'analyse de données qui permet (dans notre cas) de regrouper des individus situés dans un espace à n dimensions selon une mesure de proximité dans cet espace.

Cette mesure de proximité est typiquement une mesure de distance, et dans notre cas la distance euclidienne entre les individus.

De nombreux algorithmes de regroupement existent, l'idée générale étant la suivante :

- commencer par grouper les deux individus les plus proches, puis les remplacer par leur centre de gravité (avec des variantes),
- recommencer avec le nouvel ensemble de points, jusqu'à ne plus avoir que deux points.

Le résultat peut être présenté sous forme d'un arbre :



III Description initiale de l'échantillon

III.1 Description générale

L'échantillon issu de notre travail sur le terrain comprend des données sur 107 individus dont 57 à Paracou et 50 à Petit Saut. On s'intéresse à des arbres en phase juvénile, présentant une croissance rapide et susceptibles de réagir à la mise en place de tuteurs sur une période d'environ un an, et on choisit des individus de taille inférieure à 4,50m.

III.2 Distribution des données

Les rapports H/D pour les arbres sont en général calculés avec un diamètre mesuré à 130cm du sol. Le choix de cette hauteur se justifie par le fait que pour de gros arbres, la présence d'éventuels contreforts, déformations, ou racines adventives rend difficile la mesure du diamètre à la base et que généralement (du moins en milieu tempéré), la croissance est plus régulière une fois que les arbres ont dépassé 1,30m de hauteur. Sur ces individus de grande taille, le diamètre à la base et le diamètre à 130cm sont de toutes façons peu différents.

Concernant notre échantillon, certains de nos individus n'atteignent pas 1,30m, et l'erreur commise sur la mesure de petits diamètres pour ceux qui dépassent de justesse cette hauteur entraîne des erreurs importantes sur les calculs. On décide donc de considérer le diamètre à une hauteur de 20cm pour l'établissement des allométries hauteur-diamètre et le calcul du facteur de risque RF.

a/ Elancement H/D_{20}

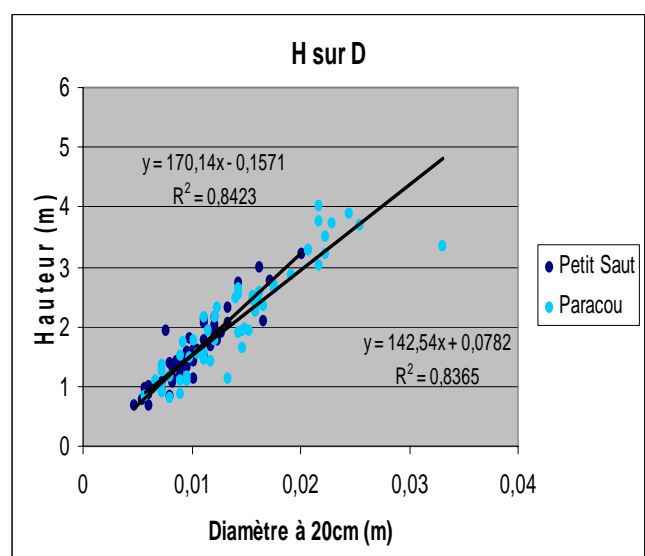
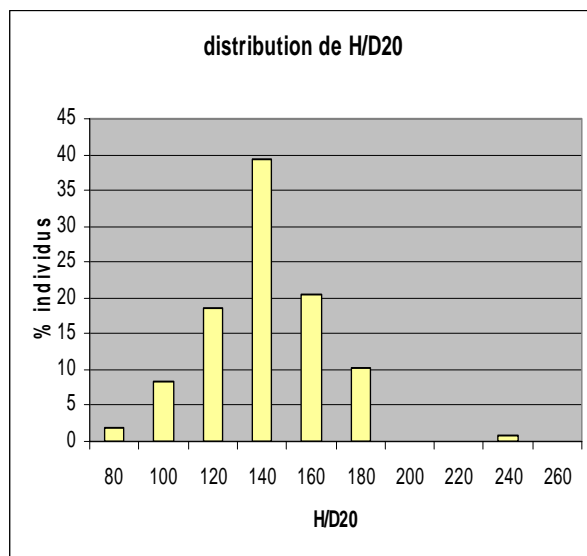


Fig 1a : Distribution des individus selon le rapport H/D_{20} .

Fig 1b : Représentation de l'allométrie entre hauteur et diamètre à 20cm.

La distribution de la figure (1 a) met en évidence une population homogène concernant l'allométrie hauteur-diamètre, avec des valeurs proches de 140. Ceci concorde avec les données de la littérature concernant des espèces héliophiles en forêt tropicale, avec α entre 100 et 180 pour $H=\alpha.DBH$ (forêt tropicale humide du Costa Rica, Rich et al., 1986 et forêt guyanaise, Dodet 2003).

La figure (1b) montre quant à elle qu'il existe des relations linéaires entre hauteur et diamètre à 20cm du sol pour les deux sites, avec de bons coefficients de corrélation. Les arbres sont donc dans une phase où la croissance en hauteur n'est pas favorisée par rapport à la croissance en diamètre donc ce sont des juvéniles qui ne subissent pas encore une pression forte pour l'accès à la lumière ou bien qui ne peuvent pas se permettre de favoriser la croissance en hauteur car ils sont dans des milieux peu denses et donc ne peuvent pas facilement trouver des supports naturels dans leur environnement proche.

b/ Facteur de risque RF.

Le facteur de risque est donc calculé à partir de la formule de Greenhill-Euler, en utilisant des paramètres (module d'élasticité et masse volumique) calculés sur des *T.melinonii* en phase juvénile. La répartition des valeurs calculées est présentée sur la figure 2.

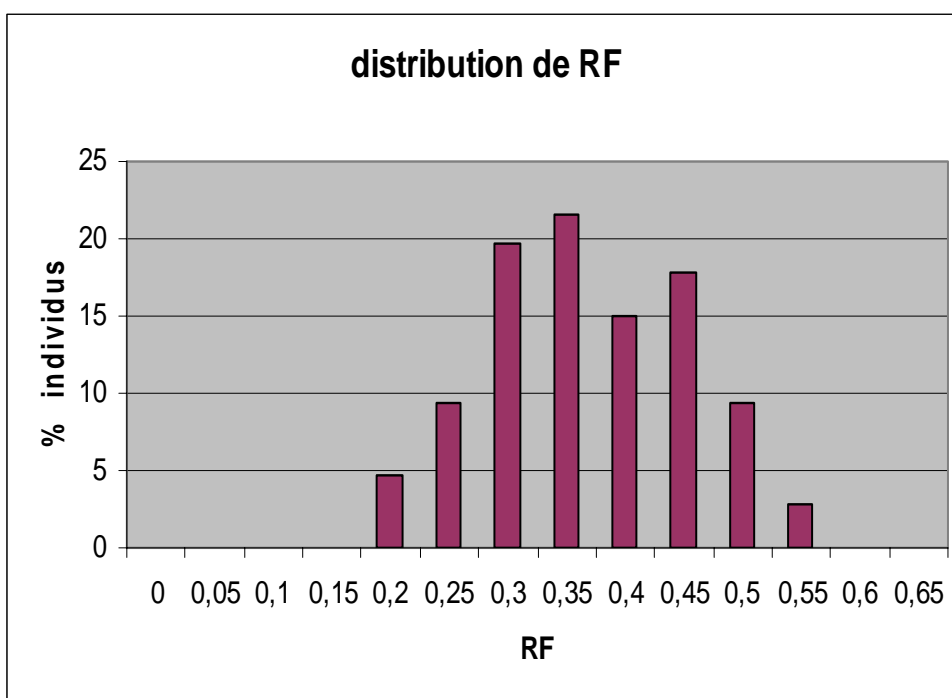


Fig 2 : Répartition des individus selon leur facteur de risque.

L'ensemble des individus présente un facteur de risque proche de 0.4, et ne dépassant jamais 0.6. Ce sont des valeurs relativement faibles qui laissent penser que les arbres de l'échantillon ne sont qu'au début de leur phase juvénile de croissance. En effet les arbres très jeunes prennent peu de risques car ils sont très vulnérables à un ensemble de stress, comme la chute de branches d'individus voisins, ou le passage d'animaux, et surtout parce qu'ils ne sont pas encore dans une phase intense de compétition pour l'accès à la lumière car les milieux d'étude choisis sont assez ouverts, bien qu'en phase de densification.

La prise de risque semble croissante dans la phase juvénile, comme l'indique la figure 3b pour *Goupia glabia* (espèce héliophile stricte) qui présente un comportement proche du *T.melinonii*. En effet, plus ils grandissent, plus leur besoin en lumière est important pour entretenir

leur structure et donc plus ils prennent de risques pour atteindre un niveau suffisant de lumière (Sterck et Bongers 1998). La partie croissante de la courbe correspond donc à cette prise de risque progressive, la partie décroissante à l'atteinte de la phase adulte c'est-à-dire qu'une fois que l'arbre à atteint des étages suffisamment lumineux, voire la canopée, l'équilibre entre croissance en hauteur et croissance en diamètre se rétablit et l'arbre s'éloigne, de ce fait, de sa hauteur critique.

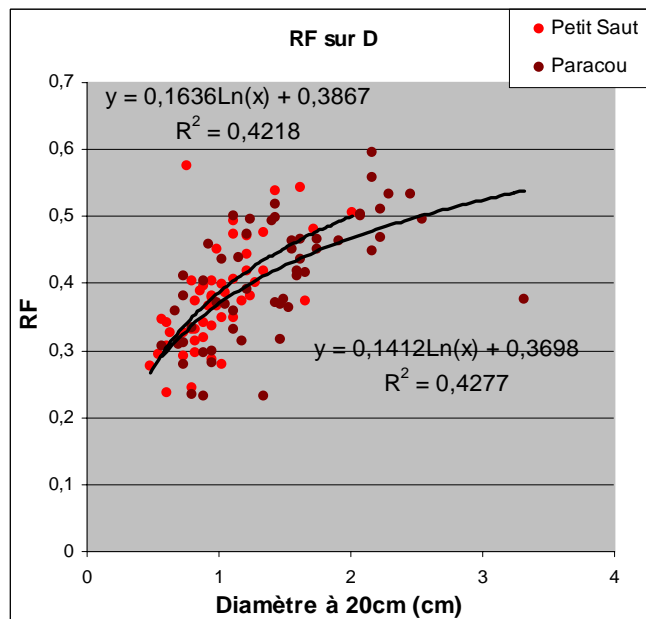


Fig 3a : Représentation du facteur de risque des individus en fonction de leur diamètre.

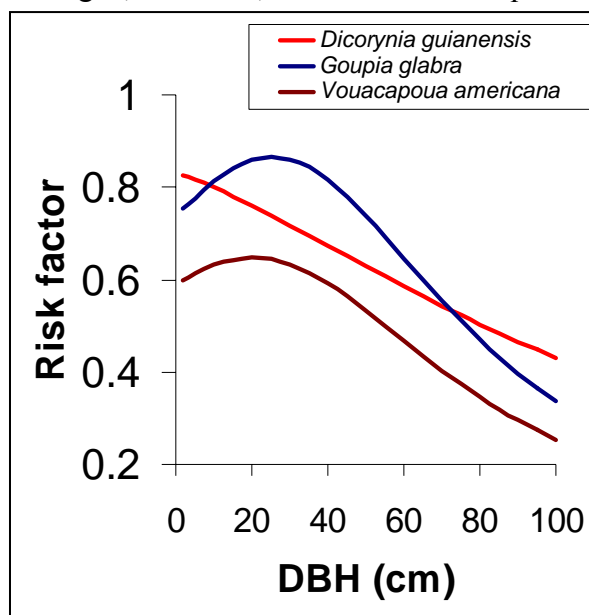


Fig 3b : Evolution du facteur de risque avec la croissance de l'arbre pour trois espèces (Sterck et Bongers 1998).

La relation entre facteur de risque et diamètre pour nos individus est présentée dans la figure 3a. On note que le facteur de risque augmente nettement avec le diamètre (et donc avec la hauteur puisqu'on a vu qu'ils étaient directement liés) (les coefficients de corrélation sont statistiquement significatifs). Les individus de l'échantillon se situent donc bien dans une phase de croissance pendant laquelle la prise de risque va augmenter progressivement, et ce jusqu'à ce qu'ils accèdent à la lumière.

III.3 Comparaison avec d'autres échantillons.

Une centaine de *T. melinonii* avait été mesurée lors d'une précédente étude à Paracou (Jaouen, *comm. pers.*), tous ayant des diamètres à 1,30m compris entre 1cm et 7cm (la majorité des arbres étant donc plus gros que ceux que nous avons étudiés). Ces mesures avaient été réalisées dans des parcelles un peu plus denses et perturbées : traitement témoin (aucun prélèvement) et traitement 3 (prélèvement du bois d'énergie et du bois d'œuvre il y a 17 ans environ) du dispositif de Paracou (CIRAD). Ces données supplémentaires nous permettent d'évaluer la représentativité de notre échantillon.

Les figures 4 et 5 représentent les allométries hauteur-diamètre et les distributions de RF pour cet autre échantillon.

a/ Comparaison de H/D

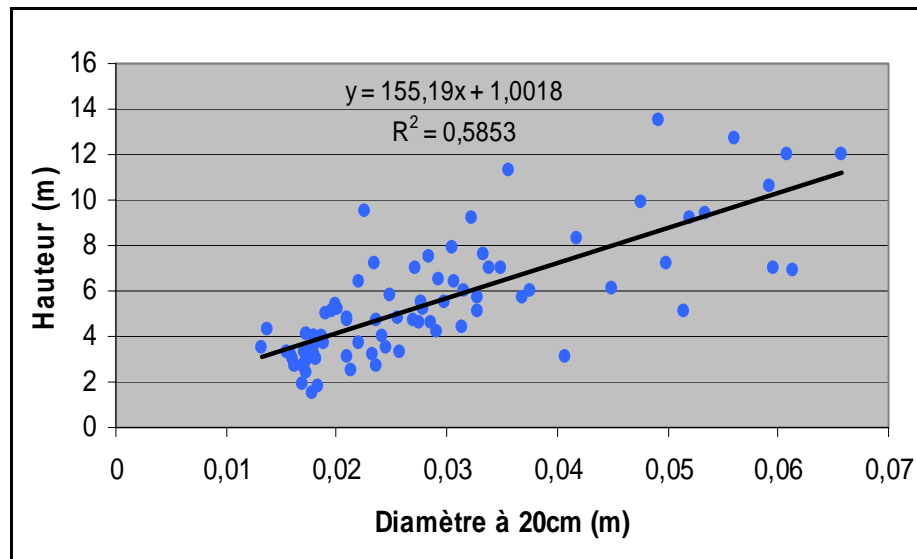


Fig 4 : allométrie hauteur-diamètre pour le 2ème échantillon

La relation entre hauteur et diamètre pour ces individus plus grands en moyenne ($H_{\text{moy}} = 5,5 \pm 2,7\text{m}$ contre $1,8 \pm 0,8\text{m}$ pour notre échantillon) est du même ordre que pour les nôtres. Ces données nous confirment que les individus de notre échantillon sont représentatifs d'une population juvénile de *T. melinonii*.

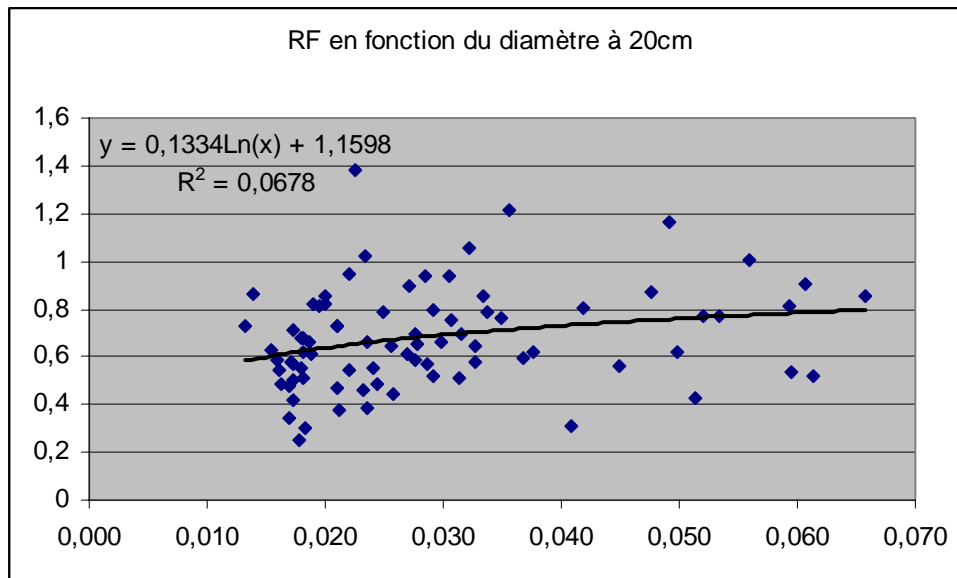


Fig 5 : Facteur de risque en fonction du diamètre pour le 2ème échantillon.

La figure 5 montre qu'il n'y a pas de relation nette entre prise de risque et taille des arbres pour cet échantillon, bien que la tendance soit à une augmentation de la prise de risque avec le diamètre. Les valeurs de RF ($0,67 \pm 0,2$) sont nettement plus élevées que pour notre échantillon ($0,39 \pm 0,08$), il s'agit donc d'arbres qui sont déjà dans leur phase de recherche active de lumière. Certains de ces individus ont pu prendre appui sur leurs congénères au cours de leur croissance (au moins tous ceux dont $RF > 1$). Si on laissait notre échantillon évoluer naturellement, on retrouverait probablement une répartition de ce type dans quelques mois ou quelques années.

Le protocole expérimental devrait permettre de mettre en évidence ces phénomènes de lianescence que l'on observe de façon isolée au sein des peuplements évoluant naturellement.

III.4 Représentativité de l'échantillon et utilité pour l'étude

Les caractéristiques actuelles de l'échantillon en termes de croissance et de prise de risque semblent adéquates pour mettre en place un protocole visant à observer des modifications dans le développement des arbres.

Les arbres ont encore une forte marge pour augmenter leur prise de risque tout en restant autoportants, et peuvent également atteindre la non-autoportance s'ils trouvent un appui par la suite. On peut donc imaginer, si notre hypothèse est bonne, que les tuteurs vont rendre ces arbres non-autoportants *ie* qu'ils vont abandonner leur fonction de soutien au seul profit de leur croissance en hauteur et donc de leur accès à la lumière.

D'autre part, on a pu voir que notre échantillon est assez homogène malgré l'utilisation de deux sites mais il représente quand même une gamme de variables (lumière, vigueur, taille) qui va permettre, à terme, d'analyser l'effet des tuteurs sur la vigueur et la croissance vis-à-vis de l'accès à la lumière, tout en connaissant précisément les conditions initiales et de croissance pour chaque arbre suivi. Il reste donc à constituer des couples homogènes d'arbres.

IV Constitution des couples d'arbres pour l'expérimentation

L'objectif est de former, à partir de l'ensemble des arbres mesurés, des couples d'individus les plus semblables possibles, c'est-à-dire présentant le moins de différences sur l'ensemble des variables considérées. L'hypothèse faite ici est que la similitude sur l'ensemble de ces critères correspond à un développement potentiel similaire pour les deux arbres. Il est donc envisageable, à terme, de connaître d'une part l'effet des tuteurs sur ces arbres, d'autre part les conditions qui modulent cet effet du tuteur (les couples étant sensés se répartir le long d'un gradient de conditions).

IV.1 Choix des paramètres descriptifs utilisés.

L'observation a été faite pour chacun des arbres sur 13 paramètres qui décrivent la morphologie, l'état de vigueur, et les conditions de vie. Mais on sait que ces paramètres ne sont pas indépendants, et on peut même supposer de fortes corrélations entre certains d'entre eux. Il faut donc s'intéresser à l'importance de ces corrélations, pour ne conserver par la suite que le nombre de variables nécessaire.

IV.1.1 Utilisation de l'ACP :

Nous avons dans un premier temps réalisé une ACP (la méthode est présentée dans le chapitre « Matériels et méthodes ») sur l'ensemble des 13 variables mesurées.

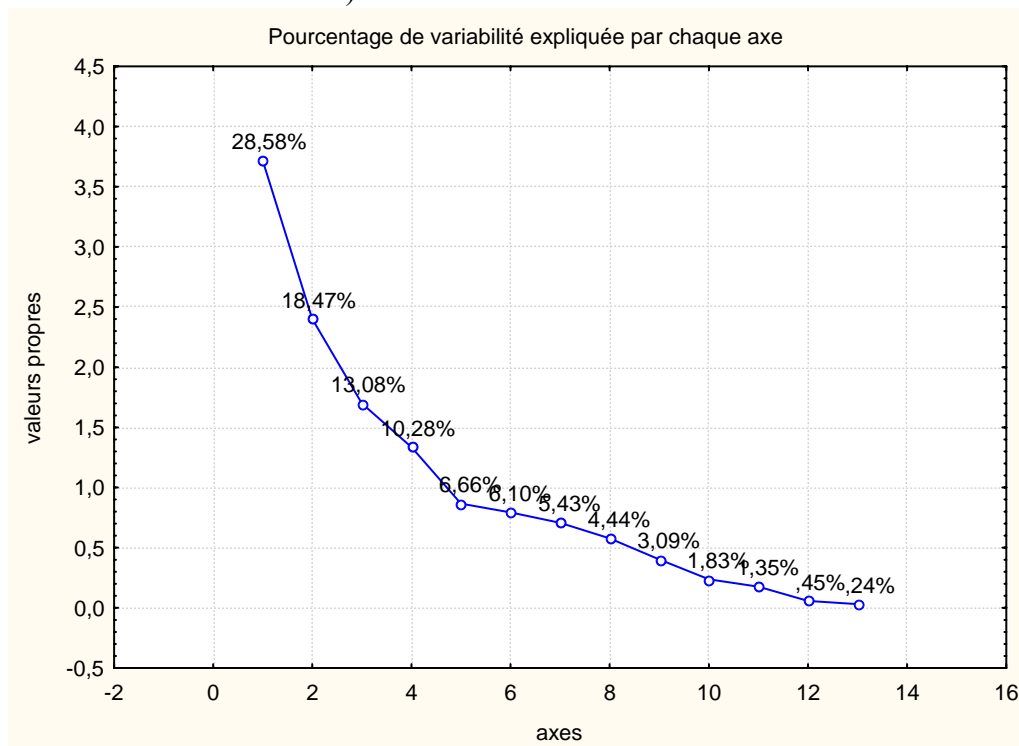


Fig 6 : variabilités expliquées par les composantes principales.

Les résultats présentés sur la figure 6 montrent que les quatre premières composantes suffisent à expliquer 70% de la variabilité, et les deux premières 47%. Cela nous permet par la suite de représenter le nuage en deux dimensions par projection sur ces deux premières composantes, en perdant le moins possible d'informations sur sa structure.

La deuxième étape a consisté à éliminer les descripteurs redondants, *ie* fortement corrélés à d'autres variables. Pour cela nous avons étudié la projection des vecteurs unitaires de départ sur le plan formé par les deux premières composantes principales (ou « plan factoriel 1*2 »). Cette projection est représentée sur la figure 7.

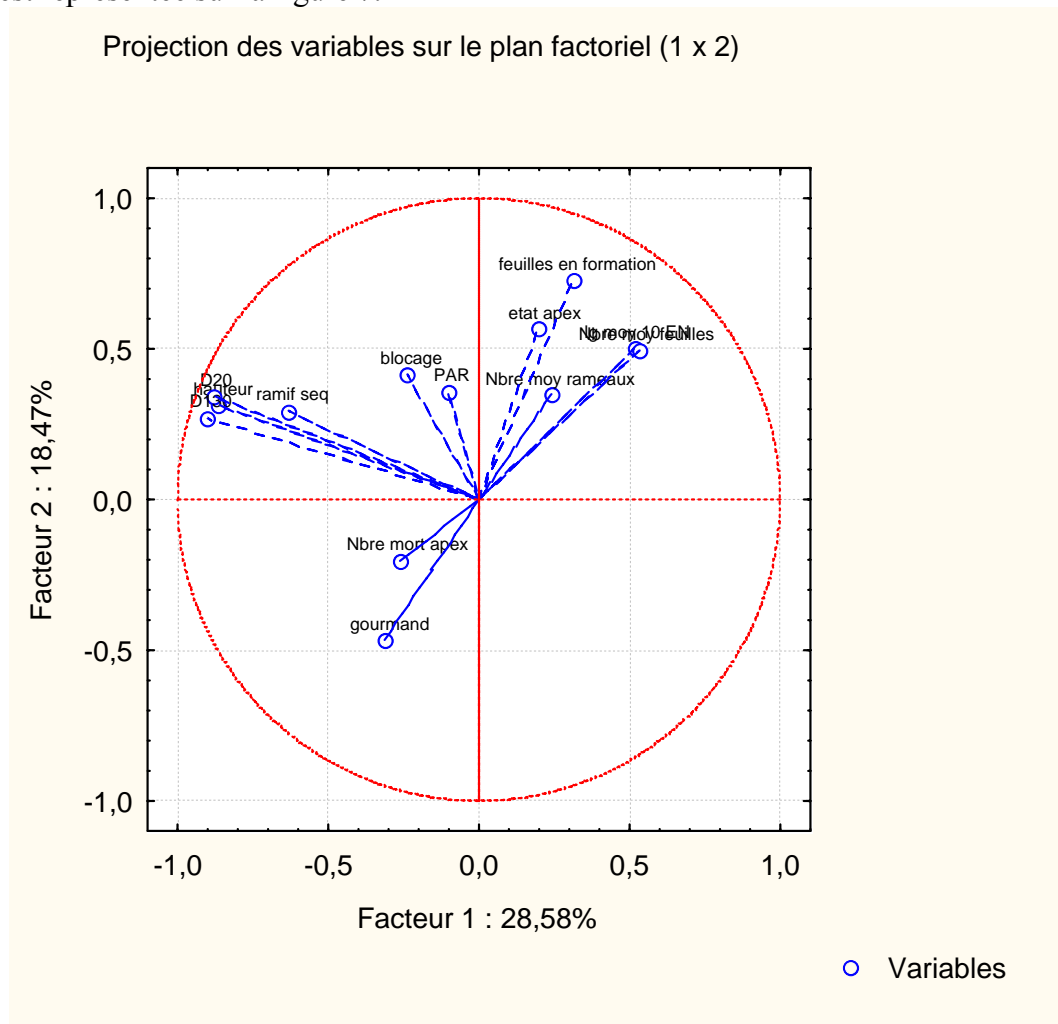
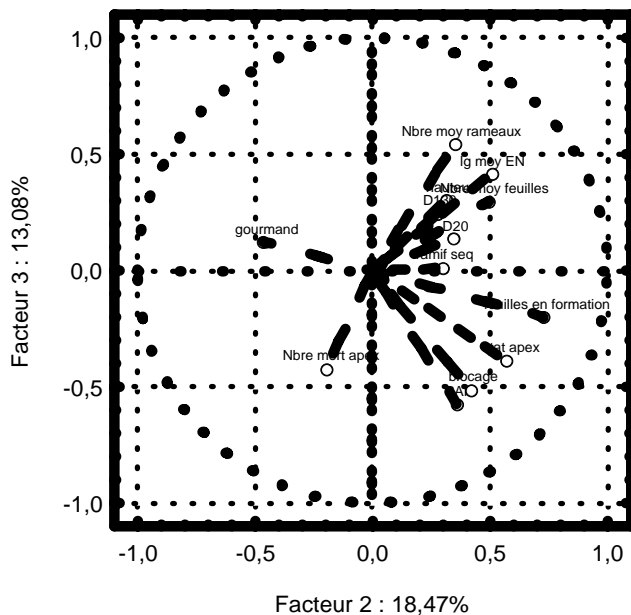


Fig 7 : Représentation de la projection des vecteurs unitaires des variables sur le plan factoriel 1*2.

Sur une telle projection, les variables dont les vecteurs sont projetés près du cercle de rayon 1 (cercle des corrélations) sont nécessairement proches du plan factoriel (le plan de représentation). En conséquence, deux vecteurs dont les projections sont à la fois proches du cercle et proches entre elles représentent deux variables bien corrélées.

La figure 7 nous indique donc que les variables H, D₂₀ et D₁₃₀ sont redondantes. Il est plus difficile à partir de cette figure de conclure quant à la corrélation des autres groupements de variables. Les projections sur les plans factoriels 1*3 et 2*3, présentées ci-dessous (figures 8a et 8b), vont nous permettre d'étayer ces résultats.

Projection des variables sur le plan factoriel (2 x 3)



Projection des variables sur le plan factoriel (1 x 3)

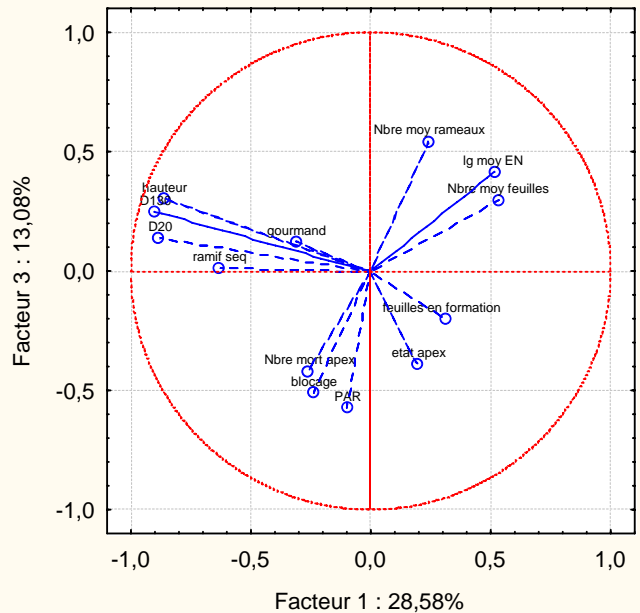


Fig 8a : Représentation de la projection des variables sur le plan factoriel 2*3

Fig 8b : Représentation de la projection des variables sur le plan factoriel 1*3

Ces deux projections supplémentaires suggèrent qu'il existe deux autres groupes de variables corrélées, puisqu'ils apparaissent dans les trois projections :

- Nombre moyen de rameaux sur les dix derniers entrenœuds/ nombre moyen de feuilles sur les dix derniers entrenœuds / longueur moyenne des dix derniers entrenœuds,
- Etat de l'apex/ nombre de feuilles en formation sur l'apex

Ces corrélations seront confirmées par l'utilisation d'un *tree-clustering*, qui nous permettra d'éliminer définitivement certaines variables.

Remarque :

La projection des individus dans le plan factoriel 1*2 permet de caractériser leur vigueur et leur taille. En effet la projection des variables initiales sur ce plan fait apparaître 2 axes perpendiculaires, comme le montre la figure 9.

IV.1.2 Utilisation du *tree-clustering*

La figure 11 ci-dessous présente le résultat du *tree-clustering* appliqué aux 13 variables initiales. Ce dendrogramme confirme la forte corrélation entre la hauteur et les deux diamètres ainsi qu'entre l'état de l'apex et le nombre de feuilles en formation sur l'apex.

Nous éliminons donc pour la suite de l'analyse les variables « diamètre à 1,30m » et « nombre de feuilles en formation sur l'apex ».

Nous éliminons également la variable « blocage » pour les raisons évoquées dans le chapitre « Matériels et méthodes » : faible variabilité et moindre précision en regard du PAR.

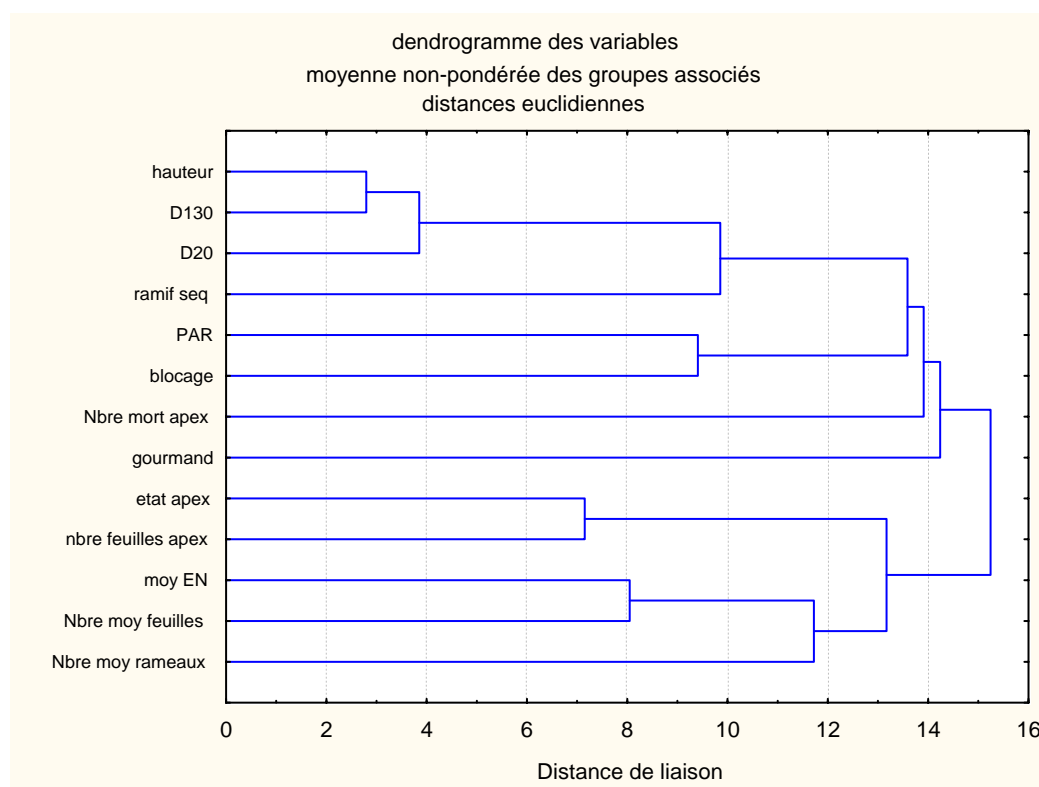


Fig 11 : résultat du *tree-clustering* réalisé sur l'ensemble des variables.

IV.2 Constitution des couples d'individus.

Ayant éliminé les variables redondantes, nous pouvons à présent procéder au regroupement des individus sur la base des 10 variables restantes. Dans ce but, on utilise à nouveau la technique de *tree-clustering*, appliquée cette fois aux individus. Le résultat est présenté sur la figure 12 ci-dessous.

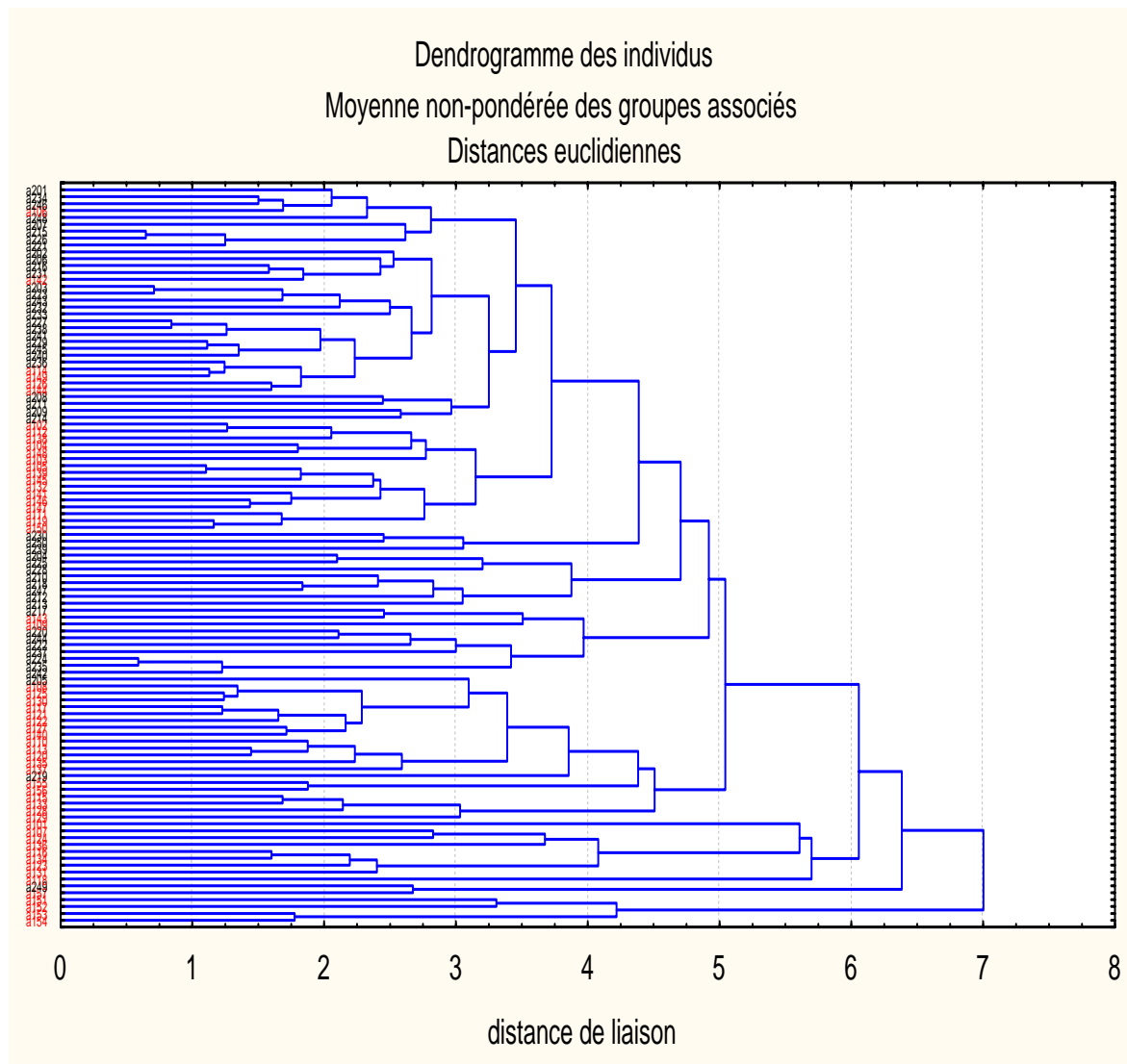


Fig 12 : Résultat du dendrogramme réalisé sur l'ensemble des individus.

Le choix des couples se fait en sélectionnant les arbres les plus proches dans le nuage de points donné par l'ACP, donc reliés directement sur le dendrogramme. On obtient ainsi des paires d'individus ayant un maximum de similarité sur l'ensemble des variables.

Cependant il convient de vérifier que la distance au sein d'un couple ne provient pas d'une différence majeure sur une seule variable (comme la taille par exemple). Il faut donc sélectionner des paires qui non seulement sont proches pour l'ensemble des variables, mais dont la distance est également bien répartie sur les différentes variables.

Le résultat de cette sélection apparaît en annexe 1. Sur les 32 paires dont les distances nous paraissent suffisamment faibles pour faire l'hypothèse que les 2 individus évolueraient de la même façon dans des conditions extérieures similaires, on peut noter que deux seulement sont composées d'arbres issus de parcelles différentes. Ceci nous confirme que les conditions de croissance, ainsi que l'état de vigueur des plantes sont bien différents entre la zone de Paracou et celle de Petit Saut.

Dans chacun de ces 32 couples, un des deux arbres sera choisi pour être tuteuré, et on va faire l'hypothèse que les variations observées par la suite sur la morphologie des individus et sur leur état de vigueur seront la conséquence de la présence du tuteur, mais l'analyse se fera couple par couple afin de tenir compte des conditions différentes de croissance et des données initiales.

V Conclusion

Notre objectif qui était de constituer un minimum de 20 couples de *T. melinonii* a été atteint dans la mesure où nous avons finalement 32 couples d'arbres relativement satisfaisants, certains pouvant encore être éliminés. Ces couples supplémentaires permettront de faire face aux divers incidents envisageables sur une période d'un an : morts d'arbres par chablis et chutes de branches, attaques par des pathogènes...

Le choix des méthodes, notamment du *clustering* avec sa représentation en dendrogramme, s'est révélé judicieux. La vérification « manuelle » des couples obtenus nous a confirmé l'efficacité de cette technique, la plupart d'entre eux se révélant très satisfaisants.

Seulement deux couples « interstationnaires » (appariements d'un arbre de Paracou avec un arbre de Petit Saut) sont ressortis du dendrogramme : cela met en évidence la différence des stations ou – inversement – montre la bonne prise en compte des différences stationnaires. Il sera donc peut-être nécessaire pour la suite de l'analyse de vérifier d'autres facteurs concernant ces sites (nature du sol, végétation environnante...) afin de ne pas avoir de biais non maîtrisés dans les résultats finaux.

Néanmoins, quelques couples issus du dendrogramme présentaient une différence entre individus relativement forte, surtout au niveau de la hauteur (souvent redondante avec le diamètre) et de la longueur moyenne des entrenœuds. (Certains ont été gardés malgré tout, car au-delà de la comparaison au sein des couples, le suivi de l'évolution d'un arbre donné (en particulier s'il est tuteuré) peut présenter un certain intérêt.

L'ACP, notamment la projection des vecteurs initiaux sur le premier plan factoriel (1*2) et le dendrogramme des variables nous ont indiqué les corrélations entre les différentes variables et ont confirmé les corrélations attendues, notamment entre la hauteur et les diamètres.

Les allométries hauteur-diamètre suggèrent, par comparaison avec des résultats classiques obtenus en forêt tropicale dense, que les arbres inventoriés sont dans une phase de prise de risque croissante (tout en étant actuellement largement autoportants), ce qui laisse espérer des réactions significatives suite à la pose des tuteurs.

Le bilan de notre travail, dont le résultat principal est la constitution des couples d'individus nécessaire à la poursuite de l'étude, est donc globalement positif.

VI Annexes

VI.1 Liste des couples d'arbres

	n° arbre	hauteur (cm)	PAR	Lg Moy des EN (mm)	D20 (mm)	H/D20	Risk factor
17 couples à Paracou	105	134	9,42143147	205	7,32484076	182,93913	0,41155472
	139	140	6,14214303	202	11,7834395	118,810811	0,31318544
	114	91	8,69850572	110	7,32484076	124,234783	0,27948865
	149	124	22,9594221	240	7,32484076	169,286957	0,38084168
	119	81	10,3679539	110	7,96178344	101,736	0,23532407
	150	101	8,38648205	200	7,32484076	137,886957	0,31020169
	117	233	11,9406198	115	16,5605096	140,696154	0,4154273
	121	225	4,67015812	140	15,9235669	141,3	0,41179132
	125	230	5,95570719	80	12,4203822	185,179487	0,49677467
	130	197	3,86259552	220	14,9681529	131,612766	0,37572982
	102	215	4,02318916	85	12,1019108	177,657895	0,47248795
	112	193	54,4311941	80	15,2866242	126,254167	0,36297036
	146	178	10,5430999	260	12,1019108	147,084211	0,39117607
	147	153	371,822047	193	10,5095541	145,581818	0,36939426
	113	350	9,2792078	160	22,2929936	157	0,51185155
	120	372	4,90640648	135	22,9299363	162,233333	0,53390331
	126	99	7,09882362	80	7,00636943	141,3	0,31320456
	144	109	11,9406198	220	9,55414013	114,086667	0,28042733
	116	263	18,209106	190	17,5159236	150,149091	0,45170541
	134	228	9,2792078	48	15,9235669	143,184	0,41728187
	115	271	6,14214303	65	17,5159236	154,716364	0,4654455
	133	326	31,6999928	120	20,7006369	157,483077	0,50089885
	127	301	8,5039614	100	21,656051	138,991176	0,44878179
	140	241	15,6795695	95	16,2420382	148,380392	0,43528958
	153	258	1380,3315	67	16,2420382	158,847059	0,46599465
	154	286	1380,3315	90	19,1082803	149,673333	0,46352505
	104	116	65,9923996	90	9,55414013	121,413333	0,29843642
	148	113	33,0337198	245	13,3757962	84,4809524	0,23230234
	155	189	414,075737	230	14,3312102	131,88	0,37107481
	156	191	929,662701	70	14,6496815	130,378261	0,36954684
	151	335	2287,41029	240	33,1210191	101,144231	0,37626797
	152	370	1380,3315	220	25,477707	145,225	0,49501278
2 couples mixtes	107	147	3,29389136	50	9,87261146	148,896774	0,37001348
	124	192	371,822047	71	11,4649682	167,466667	0,437429
	143	115	736,900573	175	7,96178344	144,44	0,33410208
	217	78	714,531931	328	5,41401274	144,070588	0,29304658
	157	86	2426,28667	325	8,91719745	96,4428571	0,23166892
	249	84	1511,17237	355	7,96178344	105,504	0,24403978
	224	141	41,055723	478	8,59872611	163,977778	0,38915082
	235	147	18,6023463	418	8,91719745	164,85	0,39599222
	215	175	39,6856222	502	11,1464968	157	0,40625685
	226	160	28,8553882	543	10,5095541	152,242424	0,38629465
13 couples à Petit-Saut	203	118	17,6465341	385	8,91719745	132,328571	0,31787131
	223	111	30,9441321	482	8,28025478	134,053846	0,31415846
	227	106	34,4683783	420	7,32484076	144,713043	0,32555821
	238	88	50,1621128	380	6,05095541	145,431579	0,30698815
	229	97	55,7661008	413	6,36942675	152,29	0,32700903
	245	96	38,0365618	423	5,73248408	167,466667	0,34718763
	234	162	25,6999727	525	10,1910828	158,9625	0,39922988
	246	147	74,5376989	405	9,55414013	153,86	0,37819099
	216	139	22,529117	392	9,23566879	150,503448	0,36578353
	231	98	34,6178067	392	6,05095541	161,957895	0,34187317
	218	214	146,958355	529	12,1019108	176,831579	0,47029033
	247	202	279,196756	650	12,1019108	166,915789	0,44391891
	204	322	20,2224306	510	20,0636943	160,488889	0,50516918
	225	300	42,2964543	628	16,2420382	184,705882	0,54185424
	220	139	56,4546242	552	7,96178344	174,584	0,40382773
	244	148	29,1861006	548	9,55414013	154,906667	0,38076371
	208	190	284,161199	534	12,1019108	157	0,41754749
	211	189	209,260717	195	12,7388535	148,365	0,40138686
	230	132	1443,46181	540	8,28025478	159,415385	0,37359384
	250	105	1321,37572	440	8,28025478	126,807692	0,29717692
	209	145	70,8047343	325	9,87261146	146,870968	0,36497928
	214	131	200,372264	210	9,55414013	137,113333	0,33702734

VII Bibliographie

- Barigah, T. S., P. Imbert, et al. (1998). "Croissance et assimilation nette foliaire de jeunes plants de dix arbres de la forêt guyanaise, cultivés à cinq niveaux d'éclairement." Annales des sciences forestières **55**: 681-706.
- Cournac, L., M.-A. Dubois, et al. (2002). "Fast determination of light availability and leaf area index in tropical forests." Journal of tropical ecology **18**: 295-302.
- Favrichon, V. (1995). Modèle matriciel déterministe en temps direct. Application à l'étude de la dynamique d'un peuplement forestier tropical humide. Thèse Université Claude Bernard, Lyon I.
- Greenhill, G. (1881). "Determination of the greatest height consistent with stability that a vertical pole or mast can be made, and the greatest height to which a tree of given proportions can grow." Proc. Cambridge Phil. Soc. **4**: 65-73.
- McMahon, T. A. (1973). "The mechanical design of trees." Science **233**: 92-102.
- Rich, P. M., K. Helenurm, et al. (1986). "Height and stem diameter relationships for dicotyledonous trees and arborescent palms of Costa Rican tropical wet forest." Bulletin of the Torrey botanical club **113**(3): 241-246.
- Sterck, F. J. and F. Bongers (1998). "Ontogenetic changes in size, allometry, and mechanical design of tropical rain forest trees." American journal of Botany **85**(2): 266-272.