

— MISE AU POINT D'UNE MÉTHODE STATISTIQUE D'INVENTAIRE FORESTIER POUR LES FORÊTS ULTRAMARINES

PHASE 5 – Analyses des données

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN – GUYANE

Date de soumission	Versio n	Rédacteurs	Relecteurs	Commentaires
20/03/2026	1.0	- Vincent Charvet, ONF International - Aurore Oberlé, ONF International	Olivier Brunaux, ONF Guyane	

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	2
Lexique	3
A Introduction	4
A.1 Objectifs des analyses	4
A.2 Données étudiées	4
B Analyse des temps	5
B.1 Temps moyen d'accès aux placettes	5
B.2 Temps moyen de collecte par formulaire	5
B.3 Temps moyen de mesure des Données dendrométriques (formulaire 3)	8
3.1 Temps de collecte de données des placettes circulaires avec positionnement des arbres	8
3.2 Temps de collecte des placettes transects avec positionnement individuel des arbres sur layon	10
3.3 Temps de mise en œuvre des placettes transects avec positionnement par sous-unités de 20 m	11
B.4 Zoom sur les hauteurs : facilité et Temps de mesure	13
4.1 Faisabilité de mesure des hauteurs totales	14
4.2 Hauteurs moyennes : estimées versus mesurées	15
4.3 Temps moyen de prise des hauteurs d'arbres	16
C Analyses des cas particuliers	17
C.1 Mesures anormales de circonférence, et principales causes	17
C.2 Espèces non reconnues	17
D Conclusions sur les analyses	18
1.1 Limites	18
1.2 Apports des analyses	18
E Propositions de recommandations pour le futur inventaire	20
1.1 Organisation spatiale et optimisation du temps terrain	20
1.2 Recommandations sur les formulaires protocolaires	21
1.3 Outils et aux équipements	21
1.4 Organisation et logistique	22
1.5 Installation et suivi des placettes (le cas échéant)	23
1.6 Bien-être au travail	23

LEXIQUE

ADNe : ADN environnemental. ADN laissé par les organismes dans des échantillons environnementaux (eau, sol, air, feuilles, etc...). Ces échantillons environnementaux sont collectés, séquencés et comparés avec des bases de références d'espèces (GenBank par exemple).

AGB (Above-Ground Biomass): Biomasse Aérienne. Masse totale de la matière végétale vivante située au-dessus du sol (tronc, branches, feuilles).

ALS (Airborne Laser Scanning) : LiDAR aéroporté. Système de balayage laser, monté sur avion ou hélicoptère pour scanner de grandes surfaces.

CM : centimètre.

DZ (Drop Zone) : Zone de dépose possible de personne et/ou de matériel par hélicoptère.

EA : Enregistreurs acoustiques. Dispositifs d'enregistrements automatique des sons, générant des archives sonores pouvant être analysées grâce à des logiciels de bioacoustique.

EEE : Espèces exotiques envahissantes.

ETP : Equivalent Temps Plein.

IFN : Inventaire Forestier National. Programme de surveillance statistique des ressources forestières à l'échelle d'un pays.

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière.

LiDAR (Light Detection and Ranging) : Technologie de télédétection active utilisant des impulsions laser pour mesurer des distances et créer des nuages de points 3D.

MASA : ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire.

MLS (Mobile Laser Scanning) : LiDAR mobile. Système laser, porté (sac à dos) ou monté sur véhicule pour scanner l'intérieur de la forêt en mouvement

ONF : Office National des Forêts.

ONFI : ONF International. Filiale privée de l'ONF.

Open Foris Arena : Application de collecte de données créée par la FAO (Food and Agriculture organization) utilisée pour cette campagne de terrain.

SU : Sous-unité d'échantillonnage.

UE : Unité d'échantillonnage.

A INTRODUCTION

A.1 OBJECTIFS DES ANALYSES

Les analyses présentées dans ce rapport couvrent les **aspects méthodologiques et budgétaires** de la collecte de données. Les objectifs sont multiples :

- Pouvoir **estimer les différents temps de collecte** par méthode ou donnée relevée afin de pouvoir budgéter les différentes approches possibles,
- Evaluer **l'intérêt, la facilité ou la difficulté d'utilisation d'outils, de méthodes ou de protocoles** ;
- **Compléter, détailler certains formulaires** avec les cas particuliers rencontrés sur le terrain

Ces analyses sont complémentaires à celles menées par l'IGN et présentées dans le document « CR Analyse statistiques données 973 2025 IGN.pdf ».

Les documents suivants sont à consulter en amont :

- Le protocole de collecte de données terrain : Guyane_Protocole de test IFN DROM_V1
- Le rapport de collecte de données terrain : Phase4_Guyane_Rapport_terrain_v1.0

A.2 DONNÉES ÉTUDIÉES

Les données analysées sont issues de la campagne terrain menée par l'ONF DT Guyane et ONFI sur les mois d'octobre, novembre et décembre 2025.

Au total, 20 placettes ont été levées.

Différents protocoles ont été appliqués :

- **UE 1 à 4** : l'UE était constituée d'une placette circulaire de 15m de rayon, et d'une placette layon (ou transect) de 20*250 m. Tous les arbres ont été positionnés avec des coordonnées relatives (distance, azimuth pour la placette circulaire ; coordonnées x,y pour le layon). Les circonférences pré comptables pour la placette circulaire était > 31 cm, et pour le layon > 31 cm de 0 à 60 m, puis > 125 cm de 60 à 250 m
- **UE 5 à 8** : même type d'UE que la précédente, à la différence d'un positionnement sur la placette layon par sous-unité de 20m*20m au lieu des coordonnées x,y.
- **UE 11 à 22** : le schéma d'UE a été modifié. La placette circulaire est supprimée, et les circonférences pré comptables du layon changent : > 31 cm de 0 à 60 m, > 62 cm de 60 à 100 m, et > 125 cm de 100 à 250m.

B ANALYSE DES TEMPS

B.1 TEMPS MOYEN D'ACCÈS AUX PLACETTES

Ces analyses sont issues du **Formulaire 1 : Cheminement et mise en place de l'unité d'échantillonnage**.

Temps moyen d'accès aux placettes du point de départ au point de collecte (véhicule + marche)	
Moyenne	Ecart type
03:12:24	01:59:28

Temps moyen de marche entre l'entrée de la forêt vers le centre de la placette	
Moyenne	Ecart-type
01:06:57	00:42:58

Le point de départ considéré est l'emplacement d'ONF Guyane à Cayenne.

Les écarts-type sont très importants : les temps moyens d'accès varient énormément en fonction de la localisation des sites.

Par ailleurs, les placettes ont été sélectionnées en fonction de leur **facilité d'accès**. Ces temps sont donc à manier avec précaution, et à considérer comme un **minimum**.

Enfin, d'autres moyens d'accès peuvent être utilisés en Guyane (pirogue, hélicoptère), et ne l'ont pas été dans le cadre de cette collecte : seuls des véhicules motorisés et de la marche à pied ont été utilisés.

- ⇒ Il faut compter à **minima une demi-journée** pour accéder à la placette.
- ⇒ **La carte des coûts d'accessibilité** produite par ONFI sera très probablement un meilleur support pour quantifier les coûts d'accès aux placettes.

B.2 TEMPS MOYEN DE COLLECTE PAR FORMULAIRE

Ci-dessous un rappel des différents formulaires analysés :

Formulaire 2 - Caractérisation de la placette

Ce formulaire est dédié à la description du contexte environnemental et stationnel de l'UE. Il inclut des informations relatives au statut forêt / non-forêt, à l'occupation du sol, à la disponibilité pour la production forestière, à l'altitude, à la topographie, à la pente, à la densité de la canopée ainsi qu'à la couverture végétale du sous-étage et du tapis forestier. Les relevés sont réalisés à des points définis de la placette (début et fin de transect ou centre de la placette circulaire).

Formulaire 3 – Mesures et identification des arbres

Ce formulaire est utilisé pour la collecte des données dendrométriques et botaniques des arbres inventoriés. Il comprend l'identification des individus, la détermination des essences, la mesure des circonférences et des hauteurs, l'évaluation de l'état sanitaire et de la qualité des tiges, ainsi que le positionnement des arbres selon la modalité retenue (coordonnées individuelles ou sous-unités).

spatiales). A noter qu'il y a eu plusieurs changements de protocole sur ce formulaire (positionnement des arbres, circonférences pré comptables), qui ont fortement impacté les temps de collecte. Le détail de l'impact des différents protocoles sur le temps de collecte seront précisés dans les paragraphes suivants.

Formulaire 4 – Mesures des petites tiges et de la régénération

Ce formulaire concerne les petites tiges et la régénération naturelle, relevées au sein d'une sous-placette carrée de 5 × 5 m. Il permet de renseigner la présence, l'identification et la densité de la régénération, ainsi que les mesures de circonférence des tiges de diamètre inférieur à 10 cm.

Formulaire 5 – Bois mort couché

Ce formulaire est dédié au recensement et à la caractérisation du bois mort couché interceptant un layon de 25 m. Il inclut l'identification des pièces de bois, la mesure des circonférences et l'évaluation de l'état de décomposition selon une typologie standardisée.

TABLEAU 1: TEMPS DE COLLECTE PAR FORMULAIRE

Type de formulaire		Placette circulaire (707 m ²)	Placette layon avec positionnement x,y (5 000m ²)	Placette layon avec positionnement 20*20 (5 000m ²)
Formulaire 2	moyenne	00:12:09	00:13:30	00:07:19
	écart-type	00:05:47	00:15:40	00:10:31
Formulaire 3	moyenne	02:34:53	09:16:15	05 :28 :10 ¹
	écart-type	01:10:46	01:04:59	00 :56 :43
Formulaire 4	moyenne	00:20:51		
	écart-type	00:09:00		
Formulaire 5	moyenne	00:07:48		
	écart-type	00:08:54		
ADNe	estimations	eau : 20 à 30 min, feuille : 5 à 10 min		
Camera trap	estimations	pose : 30 à 45 min, récupération: 15 à 20 min		
Bioacoustique	estimations	pose : 15 à 25 min, récupération : 10 à 15 min		

Les **écarts-types** sont de manière générale très élevés, traduisant de grandes variations de durée de collecte en fonction des placettes tests. Les résultats des analyses de temps seront donc à prendre avec précaution.

Le formulaire qui requiert le plus de temps est sans surprise le **formulaire 3**.

Les placettes transects avec positionnement x,y sont celles ayant pris le plus de temps : 9h16min de temps de collecte en moyenne. En y rajoutant le temps d'accès et de prise des autres

¹ Pour le formulaire 3, les placettes 5 à 8 n'ont pas été comptabilisées dans ce calcul, car sur la sous-placette 60 à 100m les diamètres pré comptables pris étaient différents (> 40 cm pour les UE 5 à 8 ; > 20cm pour les UE 11 à 22).

formulaire, cela reflète bien les 3 à 4 jours de collecte de données terrain pris par les équipes sur place.

Le changement de protocole de positionnement des coordonnées relatives aux sous-unités de 20m*20m a sensiblement diminué le temps de collecte pour les placettes transects : de 9h16 à 5h28.

Enfin, les placettes circulaires ont été les plus aisées à collecter, avec une moyenne de 2h35 min.

La collecte de données sur la régénération ou le bois mort ajoute peu de temps (entre 10 à 20 min par formulaire).

Le temps de collecte de données biodiversité dépend des méthodes utilisées. L'ADNe feuille est une technique très simple et rapide à effectuer (entre 5 et 10 min par échantillon).

B.3 TEMPS MOYEN DE MESURE DES DONNÉES DENDROMÉTRIQUES (FORMULAIRE 3)

Pour une meilleure visualisation des résultats entre les différentes UE, l'ensemble des dispositifs a été rapporté à des surfaces et un nombre d'arbre équivalents :

- Le temps de prospection rapporté à 1 000 m² ;
- Le temps de prospection rapporté à 100 arbres.

Les temps ont été analysés en fonction des diamètres (ou circonférences) pré comptables, afin de permettre une comparaison entre diamètres (ou circonférences) pré comptables équivalents.

3.1 Temps de collecte de données des placettes circulaires avec positionnement des arbres

Les placettes circulaires présentent un nombre moyen de **44,5 arbres** par placette. Le temps moyen de prospection pour le **formulaire 3** est de **2h35 min** par placette, avec un écart type important (1h11min). Cette grande variabilité est en partie expliquée par l'utilisation d'outils de mesure plus efficace sur les dernières UE (télémètre laser courte distance). Ainsi, le temps de collecte des arbres est divisé par 2,6 lorsque le télémètre laser à courte distance est utilisé. Ce ratio est à prendre avec précaution car l'échantillon reste très limité (2 UE mesurées avec le télémètre laser courte distance).

Le positionnement individuel des arbres est globalement facilité par la géométrie simple de la placette et par la méthode de relevé utilisée.

TEMPS MOYEN DE COLLECTE PAR PLACETTE CIRCULAIRE

Numéro de placette	Temps moyen par placette (hh :mm :ss)	Ecart type	Nombre d'arbre par placette	Temps moyen rapporté à 1000 m2 (hh :mm :ss)	Temps moyen rapporté à 100 arbres (hh :mm :ss)	Commentaires
1	03:29:00		54	04:55:37	06:27:02	Distance mesurée avec mètre ruban, placette de formation
2	04:06:00		55	05:47:57	07:27:16	Distance mesurée avec mètre ruban
3	02:01:00		39	02:51:09	05:10:15	Distance mesurée avec mètre ruban
4	03:11:00		60	04:30:09	05:18:20	Distance mesurée avec mètre ruban
5	02:00:00		32	02:49:44	06:15:00	Distance mesurée avec mètre ruban, sous-bois dense
6	03:30:00		35	04:57:02	10:00:00	Distance mesurée avec mètre ruban, temps très pluvieux
7	01:50:00		42	02:35:35	04:21:54	Distance mesurée avec télémètre laser courte distance
8	00:32:00		39	00:45:16	01:22:03	Distance mesurée avec télémètre laser courte distance

Calculs	02:34:53	01 :10 :46	44,50	03:39:04	05:47:44	
---------	----------	------------	-------	----------	----------	--

TEMPS MOYEN DE COLLECTE DES PLACETTES CIRCULAIRES DIFFERENCIÉES PAR LES OUTILS DE MESURE

Numéro de placette	Temps moyen par placette (hh :mm :ss)	Ecart type	Nombre d'arbre par placette	Temps moyen rapporté à 1000 m ² (hh :mm :ss)	Temps moyen rapporté à 100 arbres (hh :mm :ss)	Commentaires
1	03:29:00		54	04:55:37	06:27:02	Distance mesurée avec mètre ruban , placette de formation
2	04:06:00		55	05:47:57	07:27:16	Distance mesurée avec mètre ruban
3	02:01:00		39	02:51:09	05:10:15	Distance mesurée avec mètre ruban
4	03:11:00		60	04:30:09	05:18:20	Distance mesurée avec mètre ruban
5	02:00:00		32	02:49:44	06:15:00	Distance mesurée avec mètre ruban , sous-bois dense
6	03:30:00		35	04:57:02	10:00:00	Distance mesurée avec mètre ruban , temps très pluvieux
Mètre ruban	03:02:50	00:51:29		04:18:36	06:46:19	
7	01:50:00		42	02:35:35	04:21:54	Distance mesurée avec télémètre laser courte distance
8	00:32:00		39	00:45:16	01:22:03	Distance mesurée avec télémètre laser courte distance
Télémètre laser	01:11:00	00:55:09	44,5	01:40:25	02:51:59	

⇒ Pour des futures UE, le temps moyen de collecte à prendre serait donc à considérer **avec un télémètre laser courte distance**, soit environ **1h11min** pour une placette de 15m de rayon.

3.2 Temps de collecte des placettes transects avec positionnement individuel des arbres sur layon

➤ De 0 à 60m, DBH > 10 cm (circonférence > 31 cm), soit 1200 m² :

Pour les placettes transects avec positionnement individuel, le nombre moyen d'arbres recensés sur les **sous-placettes de 0 à 60 m** est de **76,75 individus** pour une surface de 1 200 m².

Le temps moyen de prospection est de **6h43min pour le layon**, soit rapporté à 1 000 m² **5 h 36 min**.

TEMPS DE PROSPECTION POUR LES SOUS-PLACETTES TRANSECTS DE 0 A 60 M AVEC POSITIONNEMENT INDIVIDUEL DES ARBRES (1200 M²)

Numéro de placette	Temps moyen de collecte :	Nombre d'individus	Rapporté à 1000 m ²	Rapporté à 100 arbres	Commentaires
1	07:43:00	51	06:25:50	15:07:51	Distance mesurée avec mètre ruban
2	07:53:00	90	06:34:10	08:45:33	Distance mesurée avec mètre ruban
3	05:50:00	82	04:51:40	07:06:50	Distance mesurée avec mètre ruban
4	05:27:00	84	04:32:30	06:29:17	Distance mesurée avec mètre ruban
Moyenne	06:43:15	76,75	05:36:03	09:22:23	
Ecart type	01:15:28	17,50	01:02:53	03:57:22	

Les temps observés par placette montrent une **dispersion marquée** et un écart type relativement important.

Cette variation du temps de collecte est principalement liée à la complexité du positionnement des arbres sur le layon, qui nécessite à la fois la mesure de la distance de l'arbre par rapport au transect et le relevé précis de la distance parcourue le long du layon. La longueur importante du transect, combinée aux conditions de visibilité en sous-bois dense et de topographie, contribue également à accroître le temps nécessaire à la collecte et à augmenter les risques d'erreur.

A noter qu'ici, aussi la plupart des mesures de longueur ont été réalisées à l'aide d'un **mètre ruban**. Les données sont donc à comparer avec la première partie des placettes circulaires encadrées en orange qui avaient les mêmes outils de mesure.

- ⇒ Rapporté à 1000 m², le temps de mesure des arbres sur **une placette layon avec positionnement** et mètre ruban est donc **sensiblement similaire à celui d'une placette circulaire avec positionnement** (5h36 versus 4h18, avec des écarts types qui se recourent)².

² Prudence sur la faisabilité de faire une placette circulaire de 1 000 m².

- ⇒ Pour un **sous-carré sur une placette** layon de 20m*20m, en prenant 10 cm comme **diamètre pré comptable**, on peut donc estimer le temps de collecte avec **positionnement de 2h14min environ**.

Ce temps pourrait être aisément **diminué avec l'utilisation d'un télémètre laser courte distance**, qui pour la placette layon a permis de diminuer le temps de collecte d'un facteur 2,6.

- **De 60à 250m, DBH 40 cm (circonférence 125 cm), soit 3 800m² :**

Pour les sous-placettes de **60 à 250m**, le nombre moyen d'arbres recensés est de **24 arbres** par sous-placette.

Le temps moyen passé pour le positionnement et les mesures de ces arbres est globalement homogène, avec une moyenne de **2h33min** sur les 190 m de layon, soit **40 min** rapporté à 1 000 m².

TEMPS DE COLLECTE MOYEN DES SOUS-PLACETTES 60-250M AVEC POSITIONNEMENT

Numéro de placette	Temps passé :	Nombre d'individu	Rapporté à 1000 m ²	Rapporté à 100 arbres	Commentaires
1	02:28:00	18	00:38:57	13:42:13	Distance mesurée avec mètre ruban
2	02:21:00	24	00:37:06	09:47:30	Distance mesurée avec mètre ruban
3	02:28:00	27	00:38:57	09:08:09	Distance mesurée avec mètre ruban
4	02:55:00	28	00:46:03	10:25:00	Distance mesurée avec mètre ruban
Moyenne	02:33:00	24,25	00:40:16	10:45:43	
Ecart type	00:15:02	4,5	00:03:57	02:01:47	

- ⇒ On peut estimer que par **sous-unité de 20*20**, le temps moyen de collecte avec positionnement pour le DBH 40cm est d'environ **16 min**.
- ⇒ Dans les placettes avec positionnement des arbres, le temps de collecte de la sous-placette **0-60m (> 31 cm de circonférence)** représente **66% du temps de collecte**.

3.3 Temps de mise en œuvre des placettes transects avec positionnement par sous-unités de 20 m

- **Sous-placette 1, de 0 à 60 m, « Petits arbres » dont la circonférence est supérieure à 31 cm**

Ces mesures concernent les placettes layon des UE 5 à 22.

La placette 17 a été exclue de l'analyse des temps de collecte suite à un bug de formatage de la date.

Le nombre d'arbre moyen est de **77 arbres par sous-placette**. Le temps moyen de mesure des données est de **3h14min**, avec un écart type de 44 min, soit **2 fois moins de temps pour la sous-**

placette équivalente avec positionnement des arbres. Pour l'équivalent de 1 000m², le temps moyen de collecte est estimé à 2h41min, aussi efficace qu'une placette circulaire de même surface.

Numéro de placette	Temps passé :	Nombre d'individu	Rapporter à 1000 m ²	Rapporté à 100 arbres	Commentaires
5	04:58:00	94	04:08:20	05:17:01	Placette de formation
6	02:46:00	54	02:18:20	05:07:24	
7	02:21:00	63	01:57:30	03:43:49	
8	03:27:00	55	02:52:30	06:16:22	
11	03:27:00	95	02:52:30	03:37:54	
12	03:28:00	106	02:53:20	03:16:14	
13	02:03:00	57	01:42:30	03:35:47	
14	03:26:00	66	02:51:40	05:12:07	
15	03:06:00	77	02:35:00	04:01:34	
16	03:48:00	81	03:10:00	04:41:29	
17	02:46:00	76	02:18:20	03:38:25	
18	03:05:00	65	02:34:10	04:44:37	
19	02:41:00	81	02:14:10	03:18:46	
20	03:30:00	92	02:55:00	03:48:16	
21	04:14:00	104	03:31:40	04:04:14	
22	02:35:00	64	02:09:10	04:02:11	
Moyenne	03:13:49	76,88	02:41:31	04:16:38	
Ecart type	00:43:44	17,29	00:36:26	04:12:52	

⇒ Le temps moyen à prendre pour une **sous-unité de 20m*20m** peut être estimé à **1h04min** pour ces diamètres pré comptables.

➤ **Sous-placette 2, de 60 à 100 m (soit 800 m²), « Arbres moyens », dont la circonférence est supérieure à 62 cm**

Ces mesures concernent les placettes layon des UE 11 à 22. Les UE 5 à 8 ont été exclues de l'analyse car le changement de protocole implique des diamètres pré comptables différents (> 40 cm de DBH pour les UE 5 à 8, > 20 cm de DBH pour les UE 11 à 22). La placette 17 a également été exclue de l'analyse des temps de collecte suite à un bug de formatage de la date.

En moyenne, le temps de collecte est de 1h26min. Ce chiffre est à prendre avec précaution car l'écart type est très élevé (1h07min).

Numéro de placette	Temps passé :	Nombre d'individu	Rapporté à 1000 m ²
11	01:01:00	22	01:16:15
12	01:04:00	24	01:20:00
13	00:37:00	15	00:46:15
14	00:40:00	19	00:50:00
15	00:34:00	16	00:42:30
16	00:58:00	18	01:12:30
18	02:21:00	12	02:56:15

19	04:16:00	14	05:20:00
20	02:15:00	20	02:48:45
21	01:10:00	28	01:27:30
22	00:50:00	26	01:02:30
Moyenne	01:26:00	19,83	01:38:33
Ecart type	01:07:05	5,06	01:25:45

⇒ Par sous-unité de 20*20m, le temps moyen de collecte peut être estimé à 43 min.

- Sous-placette 3, de 100 à 250 m (soit 3 000m²), « Gros arbres », dont la circonférence est supérieure à 125 cm

Ces mesures concernent les placettes layon des UE 11 à 22.

Le temps moyen de collecte pour gros arbres et de 1h15 pour 3 000 m², soit 25 min pour 1000m².

Numéro de placette	Temps passé :	Nombre d'individu	Rapporter à 1000 m2
11	00:56:00	12	00:18:40
12	01:10:00	14	00:23:20
13	02:05:00	29	00:41:40
14	00:44:00	19	00:14:40
15	01:01:00	21	00:20:20
16	01:09:00	14	00:23:00
19	01:25:00	23	00:28:20
20	01:22:00	18	00:27:20
21	01:38:00	19	00:32:40
22	00:48:00	19	00:16:00
Moyenne	01:15:16	19,00	00:25:05
Ecart type	00:23:54	4,51	00:07:58

⇒ Pour une sous-unité de 20m*20m, on peut estimer que le temps de collecte moyen est de 10 min environ.

B.4 ZOOM SUR LES HAUTEURS : FACILITÉ ET TEMPS DE MESURE

La mesure des hauteurs en forêt guyanaise semble être un challenge d'après les échanges avec les partenaires locaux. Dans le cadre du protocole, il a donc été testé de mesurer les hauteurs avec un télémètre laser Nikon Forestry tous les « xx » arbres en fonction de la forme de la placette. Si la mesure de hauteur s'avérait impossible, la consigne était de l'estimer.

Pour rappel, les règles de mesure des hauteurs étaient les suivantes :

- Cas placettes circulaires : Relever la hauteur totale tous les 5^{ème} arbres.
Exemple la placette comprend 42 individus, la hauteur va donc être prise 8 fois (au 5^{ème}, 10^{ème}, 15^{ème}, etc.)
- Cas placettes transects : Relever la hauteur totale tous les 10^{ème} arbres.

Exemple la placette comprend 113 individus, la hauteur va donc être prise 11 fois (au 10^{ème}, 20^{ème}, 30^{ème}, etc.)

Pour l'analyse, les valeurs aberrantes (> 100 m) ont été écartées.

4.1 Faisabilité de mesure des hauteurs totales

Pour les placettes circulaires, sur un total de 356 arbres collectés du formulaire 3, 59 hauteurs d'arbres ont été mesurées ou estimées, soit légèrement en dessous de ce que recommandait le protocole.

Total arbres	Hauteurs estimées	Hauteurs mesurées
356	6	53
	1,69%	14,89%

Sur ces 59 hauteurs, **90% ont pu être mesurées avec le télémètre**, c'est-à-dire avec une bonne visibilité de l'apex de l'arbre.

UE	Nombre de hauteurs estimées	Nombre de hauteurs mesurées	Total général
1		2	2
2		11	11
3		7	7
4	4	8	12
5		6	6
6	1	5	6
7		7	7
8	1	7	8
Total général	6	53	59

Pour les placettes transects avec positionnement des arbres avec les coordonnées x,y, 60 hauteurs d'arbres ont été mesurées ou estimées pour un total de 404 arbres dans le formulaire 3, soit un nombre de hauteurs prises supérieur aux recommandations du protocole.

Total arbres	Hauteurs estimées	Hauteurs mesurées
404	13	47
	3,22%	11,63%

Sur ces 60 hauteurs, **78% ont pu être mesurées**.

UE	Nombre de hauteurs estimées	Nombre de hauteurs mesurées	Total général
1	1	12	13
2	2	20	22
3		13	13

4	10	2	12
Total général	13	47	60
	21,67%	78,33%	

Pour les placettes transects avec positionnement par sous-unités de 20m*20m, sur les 1778 arbres de ce type de placette, 160 hauteurs ont été mesurées ou estimées, soit légèrement en dessous des recommandations du protocole.

Total arbres	Hauteurs estimées	Hauteurs mesurées
1778	86	74
	4,84%	4,16%

Sur ces 160 hauteurs, **46% ont pu être mesurées**.

UE	Nombre de hauteurs estimées	Nombre de hauteurs mesurées	Total général
5	6	8	14
6	1	5	6
7	3	2	5
8	4	4	8
11	8	4	12
12	6	6	12
13	6	2	8
14	2	8	10
15	6	5	11
16	4	6	10
17	6	5	11
18	7	1	8
19	7	4	11
20	10	2	12
21	7	5	12
22	3	7	10
Total général	86	74	160

53,75% 46,25%

- ⇒ **De manière générale, toutes placettes confondues** : sur les 279 hauteurs prises, **62% ont pu être mesurées**. Le reste a du être estimé.
- ⇒ Il est à noter que les placettes étaient situées sur la bande littorale guyanaise. Les tests de mesure de hauteurs devront être poursuivis dans les autres forêts guyanaises afin d'évaluer leur répliquabilité.

4.2 Hauteurs moyennes : estimées versus mesurées

Sur l'échantillon de hauteurs mesurées, les hauteurs estimées et mesurées sont sensiblement similaires, avec des écarts-types qui se recoupent.

	Estimée		Mesurée	
Type de placette	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Circulaire	22,7	6,0	19,6	8,3
Layon coordonnées x,y	16,4	5,6	17,4	7,1
Layon SU 20*20m	23,5	19,0	21,3	9,0

4.3 Temps moyen de prise des hauteurs d'arbres

Les données du formulaire 3 permettent d'avoir une durée de prise de mesure par arbre, qui inclue toutes les données dendrométriques : positionnement, circonférence, nom de l'espèce, état de santé, présence de structures reproductives et hauteur totale si elle est prise.

Le temps de mesure des hauteurs n'est en soit pas calculé, mais nous pourrions estimer le temps de mesure pris en plus par une analyse comparative – à protocole équivalent – du temps de prise de mesures des arbres dont la hauteur n'est pas prise, avec celles dont la hauteur est prise.

En effet, le type de positionnement et la prise de hauteur impactent le temps de mesure globale par arbre.

Pour cette section, nous allons donc également étudier les données :

- Pour les placettes circulaires
- Pour les transects avec positionnement x,y
- Pour les transects avec positionnement par sous-unité de 20m*20m

	Hauteurs estimées			Hauteurs mesurées			Pas de hauteurs prises		
UE	Effectif	Moyenne de temps par arbre	Écart type	Effectif	Moyenne de temps par arbre	Écart type	Effectif	Moyenne de temps par arbre	Écart type
Placettes circulaires	6	00:03:40	00:02:15	53	00:03:10	00:03:38	297	00:02:35	00:03:52
Transects x,y	13	00:04:30	00:04:48	47	00:04:18	00:02:23	344	00:03:02	00:02:38
Transects SU 20*20	86	00:02:11	00:01:47	74	00:01:48	00:01:02	1618	00:01:55	00:08:32

Ces résultats sont difficilement interprétables et ne dégagent pas de tendance claire dans le surplus de temps liés à la mesure de la hauteur.

Cependant, les retours du terrain sont plus explicites (extrait du rapport de terrain Guyane):

« Plusieurs limites méthodologiques ont été identifiées concernant la précision des données collectées. La mesure des hauteurs totales des arbres s'est révélée particulièrement chronophage et souvent peu fiable, en raison des difficultés à distinguer clairement les apex dans des canopées denses et étagées. Cette incertitude questionne la pertinence d'un relevé systématique des hauteurs totales sur le terrain dans le cadre d'un inventaire à grande échelle. »

- ⇒ Il conviendrait de **poursuivre ces analyses avec un protocole dédié à la mesure du temps de mesure de hauteurs en plus**, sur des habitats plus variés.

C ANALYSES DES CAS PARTICULIERS

C.1 MESURES ANORMALES DE CIRCONFÉRENCE, ET PRINCIPALES CAUSES

12,2% des arbres ont eu des mesures de circonférences anormales.

Types de mesure circonférence	Effectif	%
Mesure normale	2229	87,8%
Estimée	177	7,0%
Autre situation	4	0,2%
Décalée hors défaut	111	4,4%
Moyenne de mesures	8	0,3%
Vides	9	0,4%
Total	2538	100,0%

Pour rappel, les cas particuliers déjà intégrés dans le formulaire étaient les suivants :

Code	Nature de l'élévation de la mesure
1	Contrefort
2	Branche
3	Renflement
4	Autre situation

Deux nouveaux cas particuliers ont été remontés sur le terrain :

- Etranglement par un ficus
- Echasse

- ⇒ A proposer dans une version 2 du formulaire.

C.2 ESPÈCES NON RECONNUES

Les arbres ont été identifiés uniquement au nom vernaculaire. L'identification au nom scientifique nécessitera la présence de botaniste ou la prise d'échantillons.

Peu d'espèces ont été non reconnues dans l'ensemble : moins de 1%.

Espèce	Effectif	Effectif total	Pourcentage
Inconnu	11	2538	0,43%
Pas listé	12	2538	0,47%

- ⇒ Il serait nécessaire de clarifier le niveau de reconnaissance botanique attendu : nom vernaculaire, nom scientifique, genre etc...

D CONCLUSIONS SUR LES ANALYSES

1.1 Limites

Les analyses de temps sont à prendre avec précaution. Il y a une très grande variabilité dans les résultats de temps de prises de mesures, explicables par de nombreux éléments :

- La topographie des placettes et la composition de la forêt et du sous-bois ;
- Le nombre et la composition des équipes, qui a varié pendant les semaines de collecte
- Les conditions climatiques, la collecte ayant été effectuée au début de la saison des pluies
- Les outils de mesures utilisés, en particulier l'utilisation du télémètre laser courte distance à la fin des UE avec positionnement
- Les changements de protocole
- La maturité de l'équipe de collecte : avec une équipe expérimentée, les temps de collecte auraient donc été sensiblement inférieurs.
- La fatigue de l'équipe, en charge à la fois du layonnage et de la collecte de données terrain.

1.2 Apports des analyses

Les analyses montrent quelques tendances et approximations de temps de mesure :

- Le temps minimum d'accès aux placettes est de 3h12, soit une demi-journée de travail.
- La collecte de données sur la placette circulaire s'est avérée aisée et plutôt rapide pour la surface de la placette : 2h25 pour 707 m². Cependant, ramené à un équivalent d'une surface de 1 000m², au-delà de la faisabilité de couvrir une placette circulaire de cette surface, le temps de collecte équivalent est sensiblement supérieur que pour les placettes transects : 3h40 ;
- La collecte de données sur les placettes transects avec positionnement des arbres en coordonnées relatives a été chronophage : 9h16 pour la placette de 5000 m², soit un équivalent de 01h51 pour 1 000m²
- Le positionnement par sous-unité de 20m*20m est plus efficace en termes de temps par rapport au positionnement en coordonnées relatives, et permet d'effectuer des analyses statistiques. Le temps de collecte moyen était de 5h28 par placette de 5000 m², soit 1h06 pour 1 000 m²
- Les hauteurs ont en majorité pu être mesurées. Les tests de prise de hauteurs sur d'autres habitats restent malgré tout à effectuer.
- Le temps supplémentaire lié à la prise de mesure des hauteurs n'a pas pu être établi.

Enfin, ces tests permettent de nous fournir des éléments de calibration des futures UE de l'inventaire. Ci-dessous les temps de référence (moyennés) utilisables.

Dans une approche conservatrice sur d'autres types de forêt, il serait justifiable d'utiliser comme temps de référence la moyenne + l'écart type.

Type de formulaire	Circulaire Temps estimé avec positionnement télémètre laser courte distance	Transect x,y Temps estimé pour une sous-unité 20m*20m avec positionnement au mètre ruban	Hypothèse transect x,y Temps estimé pour une sous-unité 20m*20m avec positionnement au télémètre laser courte distance (non-effectué sur le terrain)	Transect positionnement par sous-unité de 20m*20m Temps estimé pour une sous-unité 20m*20m
Formulaire 2	12 min <i>Ecart type 6 min</i>	13min30 <i>Ecart type 16 min</i>	NA	7min <i>Ecart type 10 min</i>
Formulaire 3	1h11min <i>Ecart type 55 min</i>			
- Par sous-unité de 20m : DBH 10 cm	NA	2h14 min <i>Ecart type 25 min</i>	1h07 min <i>Ecart type NA</i>	1h04 min <i>Ecart type 15 min</i>
- Par sous-unité de 20m : DBH 20 cm	NA	NA	NA	43 min <i>Ecart type 33 min</i>
- Par sous-unité de 20m : DBH 40 cm	NA	16 min <i>Ecart type 2min</i>	8 min <i>Ecart type NA</i>	10 min <i>Ecart type de 3 min</i>
Formulaire 4	21 min <i>Ecart type 9min</i>			
Formulaire 5	8 min <i>Ecart type 9min</i>			
ADNe	eau : 20 à 30 min, feuille : 5 à 10 min			
Camera trap	pose : 30 à 45 min, récupération: 15 à 20 min			
Bioacoustique	pose : 15 à 25 min, récupération : 10 à 15 min			

E PROPOSITIONS DE RECOMMANDATIONS POUR LE FUTUR INVENTAIRE

1.1 Organisation spatiale et optimisation du temps terrain

Quel que soit le type de placette retenu (transect ou circulaire), il est recommandé, dans une optique d'optimisation du temps de terrain, de privilégier une organisation qui permet de mutualiser les temps de déplacement et de mise en place des dispositifs, par exemple avec des clusters.

Ci-dessous une analyse issue des retours terrain des différentes placettes testées.

TABEAU 2 - TABLEAU DE COMPARAISON DES DIFFÉRENTES PLACETTES TESTÉES

Critères	Placette circulaire	Placette transect avec positionnement individuel	Placette transect sans positionnement individuel
Forme et dimensions	Cercle de 15 m de rayon	Rectangle de 250 m x 20 m	Rectangle de 250 m x 20 m
Surface échantillonnée	707 m ²	5 000 m ²	5 000 m ²
Nombre moyen d'individus recensés	44,5	101	114
Représentativité spatiale	Représente en général une seule unité topographique et une formation végétale homogène	Peut traverser plusieurs unités topographiques et formations végétales différentes	Peut traverser plusieurs unités topographiques et formations végétales différentes
Temps de mise en place	Rapide (quelques minutes)	Long dans le cadre des tests (plusieurs heures), mais optimisable avec une organisation différente	Long dans le cadre des tests (plusieurs heures), mais optimisable avec une organisation différente
Temps de collecte des données dendrométriques	Optimisé	Long et chronophage	Long mais optimisé par rapport au transect avec positionnement
Effort physique sur placette	Faible à modéré	Modéré à élevé (possibilité de fort dénivelé)	Modéré à élevé (possibilité de fort dénivelé)
Lisibilité de la placette sur le terrain	Bonne vision d'ensemble, limites claires et rapide à vérifier	Vision partielle de l'ensemble du transect, limites plus longues à contrôler	Vision partielle de l'ensemble du transect, limites plus longues à contrôler
Risque d'erreur (omission/double comptage)	Faible, contrôle visuel facilité	Élevé (erreurs d'alignement, affectation aux sous-unités, conditions de visibilité et topographique)	Modéré (zones marginales, affectation aux sous-unités, erreurs d'alignement)
Contrôle qualité et vérification terrain	Facile, avec possibilité de retour sur site	Plus envisageable mais très chronophage	Difficile, voire peu envisageable
Géoréférencement et repositionnement	Simple (centre unique à retrouver)	Complexe (extrémités et axe à repositionner précisément)	Complexe (extrémités et axe à repositionner précisément)

Suivi de la dynamique forestière à long terme	Retrouver les individus semble possible (cartographie locale)	Retrouver les individus semble complexe et chronophage	Retrouver l'ensemble des individus semble extrêmement complexe
Coût global (temps / ressources humaines)	Faible	Elevé	Modéré

Ces ordres de grandeur soulignent l'impact déterminant du type de placette et du mode de positionnement des arbres sur la charge de travail et doivent être intégrés dans le dimensionnement du protocole final. En sachant, qu'au fur et à mesure des temps d'inventaire les équipes monteront en compétences et donc en efficacité.

1.2 Recommandations sur les formulaires protocolaires

La définition précise des termes et des catégories utilisées dans le protocole constitue une étape clé pour limiter les interprétations divergentes entre prospecteurs. Une clarification rigoureuse des définitions, associée à une structuration plus fine des formulaires (sous-catégorisation, logique de saisie fluide), permettrait d'améliorer l'efficacité de la collecte et de réduire le temps passé sur chaque unité d'échantillonnage.

Concernant la reconnaissance botanique, il est recommandé de clarifier le niveau de détermination attendu (vernaculaire, genre, espèce) en fonction des objectifs de l'inventaire, et d'évaluer l'opportunité d'intégrer de manière permanente ou ponctuellement un ou des botanistes spécialisés pour certaines phases ou certains types de formations forestières.

La mesure des hauteurs totales pourrait être limitée à des sous-échantillons, avec un protocole de mesure et de mesure des temps précis, compte tenu de son caractère chronophage et de sa fiabilité limitée en contexte de canopée dense.

Pour les arbres morts, une révision du protocole est recommandée, notamment concernant les modalités de mesure de la circonférence et la longueur du dispositif bois mort, afin de garantir une meilleure cohérence avec les standards bibliographiques³ tout en maîtrisant le temps de collecte.

Au vu de la complexité de la reconnaissance botanique sur juvénile et la grande diversité floristique des forêts guyanaise, la placette de régénération pourrait également faire l'objet d'une réévaluation de sa surface ou de ses modalités de relevé, dans un objectif d'optimisation du temps terrain. Pour rappel, lors des tests cette dernière avaient les dimensions de 5 m x 5 m.

1.3 Outils et aux équipements

L'utilisation d'outils de mesure de distance tels qu'un vertex est recommandée en remplacement du télémètre laser pour les calculs de distance et hauteur, en particulier pour les dispositifs reposant sur un positionnement individuel des arbres. Cet outil permettrait de sécuriser les mesures de distance et de hauteur, tout en limitant le recours au nettoyage nécessaire à l'obtention d'une ligne de visée, réduisant ainsi l'impact sur le milieu et le temps consacré à la préparation des mesures. Par ailleurs, le vertex présente l'avantage d'être moins sensible aux courtes distances et

³ Voir la revue bibliographique Partie II_Revue des IFN en milieu tropical_v2, chapitre B.7, paragraphe 1.5. Le standard mentionné est le standard carbone Verified Carbon Standard.

plus adapté aux configurations complexes de terrain, notamment en présence de pentes ou de végétation dense.

Au-delà des outils de mesure, le développement d'un logiciel de collecte dédié à l'IFN est fortement recommandé. Un tel outil, spécifiquement conçu pour la saisie, le contrôle et le traitement des données, et dont la maîtrise serait entièrement assurée par l'organisme responsable de l'inventaire, présenterait plusieurs avantages structurants. Il permettrait notamment :

- Une standardisation renforcée des données dès la saisie, par l'intégration de listes contrôlées, de règles de cohérence et de contrôles automatiques ;
- Une réduction des erreurs de saisie grâce à des champs conditionnels et à des alertes en temps réel ;
- Une traçabilité complète des données, incluant l'historique des modifications et des contrôles qualité ;
- Une adaptabilité du protocole, facilitant l'évolution des formulaires et des règles de saisie en fonction des retours de terrain, sans dépendance à des solutions externes ;
- Une meilleure interopérabilité avec les outils de traitement, d'analyse et d'archivage des données, ainsi qu'avec les dispositifs de contrôle qualité et de suivi à long terme.

Enfin, la maîtrise complète de l'outil par l'organisation responsable constitue un levier important pour assurer la pérennité de l'inventaire, l'indépendance technologique, et la continuité des méthodes sur le long terme, élément non négligeable dans le cadre d'un dispositif d'observation forestière durable.

1.4 Organisation et logistique

La composition des équipes de terrain doit être adaptée au type de placette mis en œuvre (circulaire ou transect), afin d'optimiser la répartition des tâches, l'efficacité opérationnelle et la montée en compétence des agents sur des dispositifs spécifiques.

Pour les unités d'échantillonnage comprenant des placettes circulaires, une équipe réduite de deux personnes apparaît suffisante : un responsable de la reconnaissance botanique et un collecteur de données. Compte tenu de la complexité de l'identification botanique en forêt tropicale, il est toutefois recommandé que ces deux agents disposent de connaissances botaniques solides, afin de fluidifier la collecte et de limiter les interruptions liées aux incertitudes de détermination.

Pour les placettes transects, une équipe de trois personnes est recommandée : deux responsables botaniques, affectés respectivement aux côtés droit et gauche du transect, et un collecteur de données chargé de la saisie et de la coordination des mesures. Ce dimensionnement permet de maintenir une progression régulière le long du layon tout en assurant la qualité des identifications et des mesures.

Dans le cadre de dispositifs organisés en clusters de placettes transects, il est recommandé de mobiliser une seconde équipe dédiée au layonnage, composée de deux à trois personnes. Cette équipe intervient légèrement en amont de l'équipe de collecte afin de mettre en place les layons et matérialiser les placettes avant l'arrivée de l'équipe principale. Une fois l'installation terminée, cette équipe peut rejoindre la prospection, contribuant ainsi à une optimisation globale du temps passé sur le terrain.

L'accessibilité des placettes variant fortement selon les secteurs, il est recommandé de s'appuyer sur une carte d'accessibilité régulièrement mise à jour, intégrant notamment les ouvertures et fermetures de pistes et de drop zones (DZ), ainsi que des informations topographiques (pentes,

zones humides, cours d'eau). La production d'estimations post-terrain permettrait d'améliorer la planification et la priorisation des missions futures. A cela s'associe donc une organisation détaillée des arrivées à la placette. Celle-ci inclurait l'identification des véhicules nécessaires (par exemple, le recours à des quads sur certaines pistes lorsque du matériel lourd est transporté) ainsi que le partage préalable des itinéraires pédestres sur GPS. Ces itinéraires pourront intégrer les dénivelés, les zones humides, les obstacles potentiels et des temps de marche estimés, tout en laissant aux équipes la possibilité d'adapter leur parcours aux réalités du terrain.

1.5 Installation et suivi des placettes (le cas échéant)

Lors de l'installation des placettes transects, il est recommandé de relever régulièrement les coordonnées le long du layon, par exemple à chaque piquet ou un piquet sur deux. Les corrections de pentes doivent être enregistrées pour connaître la taille totale réelle de chaque placette et mieux comprendre les difficultés auxquelles ont fait face les équipes terrains.

Pour les placettes permanentes ou semi-permanentes, l'utilisation d'un piquet métallique pour le point de référence initial est à privilégier afin de faciliter les revisites.

Les procédures de contrôle qualité doivent être renforcées, notamment par des revisites ciblées. Il est essentiel de documenter précisément l'ordre d'avancement sur le layon et, le cas échéant, de produire des schémas de positionnement, afin de garantir la traçabilité des arbres mesurés.

1.6 Bien-être au travail

Enfin, il est recommandé de porter une attention particulière au bien-être des équipes de terrain. Si un rythme de travail soutenu peut être maintenu sur de courtes périodes, la pérennité de l'inventaire repose sur la stabilité des équipes et sur leur montée en compétence progressive. Dans cette optique, il est préconisé de structurer les missions autour d'un programme hebdomadaire n'excédant pas 4,5 jours par semaines, incluant les temps de transport, de terrain et de bureau. Des missions intensives de plusieurs semaines pourraient être programmées ponctuellement au cours de l'année.