MINISTÈRE
DE L'ENVIRONNEMENT
ET DÉVELOPPEMENT
DURABLE

SECRETARIAT GENERAL A L'ENVIRONNEMENT
ET DEVELOPPEMENT DURABLE

DIRECTION DES INVENTAIRES ET AMENAGEMENT FORESTIERS (DIAF)

GUIDE OPERATIONNEL D'ASSURANCE QUALITE / CONTROLE QUALITE D'INVENTAIRE DU CARBONE FORESTIER

Mai 2024

PREFACE

C’est vraiment une grande satisfaction pour le Ministère de l’Environnement et Développement Durable de mettre à la disposition des intervenants dans le domaine de l’inventaire du carbone forestier, ce guide opérationnel d’assurance qualité/contrôle qualité qui a été élaboré dans le cadre de la mise en œuvre de Système National de Surveillance des Forêt (SNF) dans son pilier Inventaire Forestier National (IFN).

Ce document est un guide opérationnel pour les personnes impliquées dans la mise en place de l'assurance qualité/contrôle qualité de l'inventaire carbone.

Les auteurs se sont attachés à construire les outils de procédure permettant de prévenir, minimiser et corriger les erreurs afin d’obtenir des données transparentes, cohérentes, comparables, exhaustives et exactes. Ce guide revêt donc des enjeux capitaux pour tous les acteurs et partenaires du secteur forestier dans la mise en œuvre de l’assurance qualité/contrôle qualité. Il contribuera sans doute à matérialiser la détermination du Gouvernement à promouvoir un marché carbone responsable sur toute l’étendue nationale, en mettant à la disposition de tout utilisateur un document pratique et mieux élaboré, en vue de crédibiliser les évaluations des stocks de carbone forestier.

Aussi, je tiens à adresser mes vifs remerciements et mes sentiments de profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à l’élaboration de ce guide. Mes remerciements s’adressent particulièrement à la Coopération Internationale Japonaise (JICA) pour son appui technique et logistique.

J’espère que la procédure présentée dans ce guide, servira de source d’inspiration pour ceux qui sont impliqués dans l’inventaire du carbone forestier en République Démocratique du Congo, aujourd’hui et à l’avenir.

Benjamin TOIRAMBE BAMONINGA

Liste des abréviations et acronymes

	Français	English
AQ/CQ	Assurance qualité/Contrôle-Qualité	Quality assurance/Quality Control (QA/QC)
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FE	Facteur d'émission	Emission Factor (EF)
GES	Gaz à effet de serre	Greenhouse Gases
GIEC	Groupe d'Experts Intergrouvernemental sur l'Evolution du Climat	Intergouvemental Panel on Climate Change (IPCC)
GPC	Grande parcelle carrée	Large square plot
GPG	Guide des bonnes pratiques	Good Practice Guidance
ICF	Inventaire de carbone forestier	Forest carbon inventory
IFN	Inventaire Forestier National	National Forest Inventory (NFI)
JICA	Agence Japonaise de Coopération Internationale	Japan International Cooperation Agency
MEDD	Ministère de l'Environnement et Développement Durable	Ministry of Environment and Sustainable Development
NERF	Niveau d'émissions de référence pour les forêts	Forest reference emission levels (FREL)
PCM	Sous-parcelle carrée moyenne	Medium square subplot
PFNL	Produits forestiers non ligneux	Non-Timber Forest Products (NTFP)
PPC	Petite sous-parcelle carré	Small square subplot
RBA	Rapport biennal actualisé	Biannual Update Report (BUR)
RDC	République Démocratique du Congo	Democratic Republic of the Congo (DRC)
SNSF	Système National de Surveillance des Forêts	National Forest Monitoring System (NFMS)
UE	Unité d'Échantillonnage	Sampling unit
UT	Unité Technique	Technical Unit

Liste des tableaux

Table 1 : Différence entre l'AQ et CQ.....9
Table 2 : Erreurs et impacts des données 11
Table 3 : Utilisation des résultats de l'enquête CQ pour la formation de l'équipe d'étude ICF.....11
Table 4 : Utilisation des résultats de l'enquête CQ pour améliorer les capacités et les méthodes de AQ/CQ.....12
Table 5 : Liste de matériel de terrain.....18

Liste des figures

Figure 1 : Illustration du système de gestion de la qualité 9
Figure 2 : Schéma du processus de l'AQ/CQ 22
Figure 3 : Données intégrées de l'étude CQ 25
Figure 4 : Suppression des colonnes inutiles 26
Figure 5 : Classe DHP attribuée à chaque arbre sur pied 26
Figure 6 : Résultats de la compilation du nombre d'arbres sur pied des études ICF et CQ 28
Figure 7 : Résultats de la compilation, tableau de comparaison et calcul 28
Figure 8 : Création de la colonne id_arbre 29
Figure 9 : Intégration des données pour comparer les valeurs mesurées 30
Figure 10 : Calcul de « Erreur de mesure », « Erreur au carré » et « taux d'erreur » 30
Figure 11 : Séparation des genres et des espèces 31
Figure 12 : Suppression des espaces anormales et correction des majuscules et minuscules 31
Figure 13 : Suppression de l'abréviation sp parmi les noms des espèces 32
Figure 14 : Intégration des noms scientifiques CQ 32
Figure 15 : Comparaison des résultats d'identification 33
Figure 16 : Coefficient Kappa de Cohen 33
Figure 17 : Site de téléchargement des données sur la densité de bois 34
Figure 18 : Tableau initial des données mondiale sur la densité du bois (filtré par région) 34
Figure 19 : Ajout de la colonne contenant le genre 34
Figure 20 : Résultats de tableau croisé dynamique des densités de bois 35
Figure 21 : Moyennes de densités du bois par espèce, genre, famille et pour toutes les espèces 35
Figure 22 : Intégration des densités de bois dans les feuilles «arbre_ICF» et «arbre_CQ» 36
Figure 23 : Relation D_Ht pour les arbres mesurés dans l'étude ICF 38
Figure 24 : Relation D-Ht pour les arbres mesurés dans les études CQ 38
Figure 25 : Résultats de l'estimation de la hauteur d'arbre 39
Figure 26 : Exemple de la correction dans "état-santé" 39
Figure 27 : Calcul de la biomasse 40
Figure 28 : Calcul du poids de la classe de dhp 41
Figure 29 : Conversion en biomasse par ha 41
Figure 30 : Résultats de la compilation de la biomasse aérienne de l'étude ICF 42
Figure 31 : Résultats collée de la compilation et tableau de comparaison 42
Figure 32 : Calcul de "erreur de biomasse", "erreur au carré" et "taux d'erreur" 42
Figure 33 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec moins d'erreur de mesure de dhp) 43
Figure 34 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec bcp d'erreurs de mesure de dhp) 44
Figure 35 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec bcp d'erreurs de mesure de Ht) 45
Figure 36 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec bcp d'erreurs d'estimation d'AGB) 45
Figure 37 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec zéro d'erreur de mesure de Ht) 46

TABLE DES MATIERES

PREFACE **1**

TABLE DES MATIERES **4**

REMERCIEMENTS **6**

I. INTRODUCTION **7**

OBJECTIF DU GUIDE 8

1. Objectif global *8*

2. Objectifs spécifiques *8*

II. GENERALITES SUR L'ASSURANCE ET LE CONTROLE QUALITE **8**

2.1. DEFINITION DE L'ASSURANCE QUALITE ET CONTROLE QUALITE 8

2.1.1. Assurance Qualité (AQ) *8*

2.1.2. Contrôle Qualité (CQ) *8*

2.2. DIFFERENCE ENTRE AQ/CQ 9

2.3. TECHNIQUES D'ASSURANCES ET CONTROLE QUALITE 10

2.4. ERREURS OBSERVEES LORS DE L'AQ/CQ 10

2.5. IMPACT D'ERREURS DANS LES DONNEES 11

2.6. UTILISATION DES RESULTATS DE L'ETUDE CQ 11

III. PROCEDURE D'ASSURANCE QUALITE/CONTROLE QUALITE **13**

3.1. REPARTITION DES TACHES ET COMPOSITION DES EQUIPES 13

3.1.1. Équipe de contrôle-terrain *13*

3.1.2. Équipe de contrôle-saisie *15*

3.1.3. Équipe de contrôle-gestion de la base des données *15*

3.2. EXECUTION DES MISSIONS DE TERRAIN POUR LE CQ 16

3.2.1. Choix d'unité d'échantillonnage (UE) à contrôler *16*

3.2.2. Préparation de la mission *17*

3.2.3. Éléments stratégiques *19*

3.3. SCHEMA DE PROCESSUS D'AQ/CQ 22

IV. ANALYSE DES DONNEES OBTENUES LORS DES ETUDES ICF ET CQ **22**

4.1. OBJECTIF DE L'ANALYSE DES DONNEES 22

4.2. PRESENTATION DES ERREURS ET DIFFERENTES ANALYSES A EFFECTUER 22

4.2.1. Erreur d'identification des arbres *22*

4.2.2. Erreur de mesure *23*

4.2.3. Erreur relative *23*

4.2.4. Erreur relative moyenne *24*

4.2.5. Écart-type *24*

4.2.6. Erreur-type *24*

4.2.7. Intervalle de confiance *24*

4.2.8. Racine de l'erreur quadratique moyenne *24*

4.3. TRAITEMENT DES DONNEES 25
4.3.1. Intégration des données dans un seul fichier 25
4.3.2. Attribution de la Classe DHP 26
4.4. ANALYSE DU NOMBRE D'ARBRES SUR PIED 27
4.5. ANALYSE DU DHP ET DE LA HAUTEUR TOTALE D'ARBRE 28
4.6. CORRECTION DES NOMS SCIENTIFIQUES ET ANALYSE DE L'IDENTIFICATION DES ARBRES 31
4.6.1. Correction des noms scientifiques des arbres 31
4.6.2. Analyse de l'identification des arbres 32
4.7. ANALYSE DE LA BIOMASSE AERIENNE 33
4.7.1. Préparation des données sur la densité du bois 34
4.7.2. Intégration des densités moyennes de bois 35
4.7.3. Prédiction de la hauteur des arbres 37
4.7.4. Correction « état de santé » des arbres 39
4.7.5. Estimation de la biomasse aérienne 39
4.7.6. Compilation de la biomasse aérienne 41
4.8. DECISION DE LA CONFORMITE OU DE LA NON-CONFORMITE POUR TOUTES LES ANALYSES REALISEES 42

V. PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS D'ANALYSE CQ PAR CAS 43

5.1. CAS AVEC MOINS D'ERREUR 43
5.2. CAS AVEC BEAUCOUP D'ERREURS 44
5.3. CAS AVEC ZERO ERREUR 45

VI. REFERENCES 46

6.1. BIBLIOGRAPHIE 46
6.2. WEBOGRAPHIE 46

ANNEXE 47

FICHE DES RESULTATS D'ANALYSE DES ERREURS PAR UE 47

REMERCIEMENTS

L'élaboration de ce guide est fruit de l'appui technique et logistique de la Coopération Internationale Japonaise (JICA) par l'entremise de l'Association Japonaise de Technologie Forestière (JAFTA), et l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) représentées respectivement par : M. NONAKA, SATO et Christophe MUSAMPA KAMUNGANDU, pour le compte de JAFTA, et M. Cléto NDIKUMAGENGE et son équipe, pour le compte de la FAO, à qui nous adressons nos remerciements.

Les remerciements s'adressent d'abord aux géniteurs de ce document, à savoir Messieurs Richard KUSU MUETAME, Ancien Chef de Bureau Traitement et analyse des données à la Division Inventaires Forestiers de la Direction des Inventaires et Aménagements Forestiers (DIAF), et SATO Akinobu de JICA/JAFTA.

Ces remerciements s'adressent aussi, à titre posthume, au M. Jean-Paul LUBULA BULAMBO, Directeur Chef de service à la DIAF, André KONDJO SHOKO, Chef de Division Inventaire Forestier, et Hugues KIEDI KIAMAZOLA, technicien de sondage, pour leurs contributions à la mise œuvre de l'Assurance Qualité/Contrôle Qualité de l'IFN RDC.

Nos remerciements s'adressent aussi à M. Samuel LIFENDI WALO, Ancien Chef de Division Inventaire forestier, aujourd'hui appelé à d'autres fonctions, pour sa contribution à mi-parcours de la rédaction de ce guide.

Nous remercions enfin l'équipe dirigeante actuelle de la DIAF : M. Maurice MATANDA KAFUNDA, Directeur Chef de servie à la DIAF, Willy KISITA LUFUMA, le Chef de Division Inventaire Forestier, Guy LANDU BIKEMBO, Chef de Bureau Prospection, analyse et traitement des données d'inventaire, Papy ATIBASSAY BANAPIANENY, Chef de Bureau études pédo-botanique et faunique, et les experts de la Division inventaire forestier, pour leur dévouement et abnégation en vue de l'élaboration de ce guide.

I. INTRODUCTION

La forêt est une ressource naturelle importante au niveau national et mondial. Les problèmes d'approvisionnement en bois et services divers, ainsi que le rôle multi-usage des ressources forestières, y compris les services écosystémiques se posent de plus en plus avec acuité.
Le développement des populations et l'augmentation de leurs besoins en bois et autres services ont mis en exergue la nécessité de gérer de façon responsable les ressources de tous les types forestiers. Mais comment gérer une ressource aussi étendue et diversifiée sans se doter des moyens de la connaître ? A ce titre, dans le Système National de Surveillance des forêts (SNSF), l'Inventaire Forestier National (IFN) est un outil indispensable pour l'évaluation quantitative et qualitative des ressources forestières.

Dans le cadre de REDD+, l'Inventaire Forestier permet de mesurer le stock de carbone forestier dans différents types de forêts et d'estimer les émissions et les puits de Gaz à effet de serre (GES) des forêts, issus du changement de l'utilisation des terres.

Conformément aux recommandations de Guide des Bonnes Pratiques (GPG) (GIEC, 2000, 2003 et 2006), les inventaires nationaux doivent être transparents, cohérents, comparables, exhaustifs, exacts, bien documentés, et aux incertitudes évaluées. Tous ces critères peuvent être assurés si une bonne application des procédures de l'Assurance Qualité et de Contrôle Qualité (AQ / CQ) est suivie.

Les données sur la quantité et la qualité des ressources forestières obtenues à partir des études de terrain contiennent des erreurs dues à divers facteurs dans le processus d'enquêtes sur le terrain et de saisie des données. Lors de l'utilisation des données d'IFN pour les rapports internationaux, il est nécessaire d'indiquer objectivement la qualité des données en indiquant, par exemple, les erreurs contenues dans les données et le degré auquel ces erreurs affectent l'estimation de la biomasse, etc. On considère que les erreurs sont dues au fait que les enquêtes et les mesures ne sont pas effectuées conformément aux critères, normes et protocoles décrits dans le manuel d'Inventaire Forestier National.

Les garanties du marché carbone sont strictement liées à la fiabilité des données sur le stock de carbone séquestré. Cette dernière ne peut être obtenue que, d'une part, par le respect strict des normes/méthodologie lors des récoltes des données sur les différents pools de carbone, et d'autre part, par un dispositif rigoureux d'assurance qualité et contrôle qualité.

Le présent Guide Opérationnel de l'Assurance Qualité et Contrôle Qualité (AQ/CQ) sur la collecte et l'analyse des données d'inventaire du carbone forestier (ICF), vient matérialiser la détermination du Gouvernement à promouvoir un marché carbone responsable sur toute l'étendue nationale, en mettant à la disposition de tout utilisateur un document pratique et mieux élaboré, en vue de crédibiliser les évaluations des stocks de carbone forestier.
Ce guide comporte trois chapitres :

- Le premier parle de généralités sur l'assurance et le contrôle qualité ;
- Le deuxième s'articule sur la procédure d'AQ/CQ ;

- Le dernier porte sur l'Analyse des données obtenues lors des études ICF et CQ (5 exemples tirés de l'IFN RDC).

Parmi les pools de carbone, ce guide retient la biomasse aérienne, d'autres éditions du document tiendront compte d'autres pools.

OBJECTIF DU GUIDE

1. Objectif global

Ce guide vise à doter les structures en charge de la mise en œuvre de l'ICF, d'un outil de procédure permettant de prévenir, minimiser et corriger les erreurs afin d'obtenir des données transparentes, cohérentes, comparables, exhaustives et exactes.

2. Objectifs spécifiques

D'une manière spécifique, ce guide poursuit les objectifs suivants :

- Répondre aux exigences des lignes directrices de GIEC sur la transparence, la cohérence, la comparabilité, l'exhaustivité et l'exactitude des données ;
- Permettre au Ministère en charge des forêts et autres structures impliquées dans l'ICF, d'avoir un outil d'AQ/CQ approprié ;
- Permettre d'identifier les erreurs commises lors de l'enquête et de la mesure de l'inventaire du carbone forestier ;
- Partager les leçons apprises lors de la mise en œuvre de l'AQ/CQ de l'IFN RDC.

II. GENERALITES SUR L'ASSURANCE ET LE CONTROLE QUALITE

2.1. Définition de l'assurance qualité et contrôle qualité

2.1.1. Assurance Qualité (AQ)

Selon GIEC, l'assurance de la qualité est un système planifié de procédures d'examen mises en œuvre par des personnes n'ayant pas participé directement à la compilation ni au développement de l'inventaire forestier.[1]

2.1.2. Contrôle Qualité (CQ)

Le CQ se définit comme un système d'activités techniques de routine entreprises en cours d'élaboration de l'inventaire, destinées à mesurer et à contrôler la qualité de l'inventaire, à garantir

[1] « Manuel de Mesure, Notification et Vérification (MNV) de la REDD+ », version 2.0 : vue d'ensemble Décembre 2014, p.30.

l'uniformité, l'intégrité, l'exactitude et l'exhaustivité des données, détecter et résoudre les erreurs et les omissions.

2.2. Différence entre AQ/CQ

La différence entre l'AQ et CQ se résume dans le tableau 1 ci-dessous.

Table 1 : Différence entre l'AQ et CQ

	Assurance qualité	Contrôle qualité
Objectifs	Garantir l'intégrité des méthodes et des procédures utilisées ; Prévenir les erreurs en mettant en place des systèmes et des formations adéquats pour le personnel ; Maintenir la cohérence des données ; Assurer la conformité aux normes internationales et aux meilleures pratiques de l'inventaire forestier.	Identifier et corriger les erreurs et les omissions dans les données déjà collectées ; Fournir des contrôles systématiques et cohérent destinés à assurer l'intégrité, l'exactitude et l'exhaustivité des données ; Vérifier la précision des mesures et des calculs effectués. Assurer la qualité des données avant leur analyse et leur utilisation pour la prise de décision.
Activité	Vérifier les protocoles, former les équipes, valider les données et gérer les erreurs.	Évaluer les données collectées lors de l'inventaire forestier.
Intervention	Proactive	Réactive
Préséance	Précède le CQ	Succède l'AQ

L'assurance qualité /contrôle qualité sont deux aspects essentiels de la gestion de la qualité, mais diffèrent dans leur approche et leurs objectifs.[2]

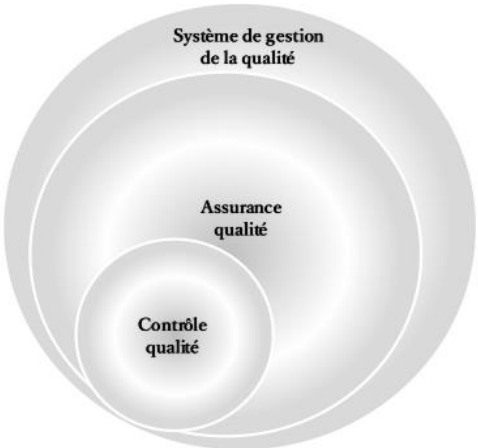


Figure 1 : Illustration du système de gestion de la qualité

[2] https://www.creaform3d.com/blog/fr/demystifier-la-difference-entre-le-controle-qualite-et-lassurance-qualite/

2.3. Techniques d'Assurances et Contrôle Qualité

Il existe différentes techniques ou stratégies d'Assurance et contrôles qualité[3]:

- Contrôle à chaud : les spécialistes accompagnent les équipes de terrain sur place ; ils surveillent, corrigent et discutent de leurs procédures les moins efficaces ou susceptibles de conduire à des erreurs.
- Contrôle à froid : les équipes de supervision se rendent sur les points d'échantillonnage mesurés avec une copie des fiches de terrain. Ils répètent les mesures, soit complètement soit en utilisant un protocole de supervision des mesures spécifiquement conçu. La comparaison entre les mesures de supervision et les mesures de terrain d'origine servent alors de base pour l'assurance de la qualité (AQ). Les résultats aideront à identifier les équipes ou les individus dont la qualité du travail doit être abordée.
- Contrôle à l'aveugle : des équipes habituelles ou de spécialistes sont envoyées sur les parcelles sans les données de l'équipe précédente et sans informations, afin de mesurer la parcelle comme s'il s'agissait d'un nouveau site. La production de rapports d'AQ réguliers fournit ainsi aux utilisateurs les informations nécessaires pour évaluer la reproductibilité des mesures et joue un rôle important en matière de transparence et de responsabilisation.

2.4. Erreurs observées lors de l'AQ/CQ

On compte trois grandes catégories d'erreurs dans les systèmes d'inventaires forestiers. Elles sont décrites de la manière suivante :

- Erreur de dénombrement : il s'agit des omissions, des erreurs de mesures, erreurs d'identification, erreurs audition, et la plupart du temps dans une moindre mesure de doubles comptes ;
- Erreur de contenus : en supposant qu'un individu ou un événement a été correctement signalé et enregistré par l'agent chargé de la collecte, celui-ci peut commettre des erreurs dans l'enregistrement des caractéristiques qui décrivent cet individu ou cet événement. Parmi les erreurs de contenu, on trouve les cas suivants : i) renseignement non fourni, ii) renseignement fourni mais illisible ou susceptible de donner lieu à diverses interprétations, iii) renseignement ne correspondant pas aux instructions, iv) renseignement imprécis et v) renseignement faux, qu'il s'agisse d'une erreur volontaire ou non.
- Erreurs **d'exploitation** : après la phase de collecte de l'information sur le terrain, se situe celle de l'exploitation, au cours de laquelle de nouvelles erreurs peuvent apparaître, telles que : i) des erreurs dans la gestion des dossiers, ii) des erreurs de chiffrement et iii) des erreurs de saisie.

[3] "Directives volontaires sur le suivi national des forêts, FAO Rome, 2017.

2.5. Impact d'erreurs dans les données

Les erreurs dans les données et leur impact sont présentés dans le tableau 2.

Table 2 : Erreurs et impacts des données

Erreur	Impact des erreurs
Nombre d'arbres sur pied insuffisant ou excessif	Affecte l'estimation de la densité des peuplements, celle du volume forestier et celle de la biomasse.
Mesures du diamètre inférieur ou supérieur	Affecte la génération des courbes de hauteur, l'estimation du volume forestier et celle de la biomasse.
Hauteur des arbres inférieure ou supérieure	
Nom d'espèce d'arbre incorrect	Affecte l'agrégation des comptages d'espèces d'arbres Affecte indirectement l'estimation de la biomasse en rendant incertaine la récupération de la densité du bois par espèce d'arbre.
Données manquantes	Les données quantitatives manquantes (diamètre/hauteur de l'arbre) affectent la génération de la courbe de hauteur, l'estimation du volume forestier et l'estimation de la biomasse. L'absence de données qualitatives rend difficile la compréhension et la représentation de l'état actuel des parcelles. L'absence des coordonnées de la parcelle et des dessins schématiques rend difficile la reprise de la parcelle lors de la phase suivante.

2.6. Utilisation des résultats de l'étude CQ

En ce qui concerne spécifiquement la formation de l'équipe qui a réalisé l'étude de l'ICF, il est envisagé d'utiliser les résultats de l'enquête CQ, comme le montre le tableau 3.

Table 3 : Utilisation des résultats de l'enquête CQ pour la formation de l'équipe d'étude ICF

Cas d'erreur	**Exemples de causes.**	**Utilisation pour le renforcement des capacités**
Erreurs dans le nombre d'arbres sur pied	- Mauvais réglage de la parcelle ; - Erreurs dans l'arbre cible de la mesure.	- Conseils sur les paramètres appropriés pour Parcelle, petite parcelle et sous petite parcelle ; - Orientations sur les critères de détermination des arbres à mesurer
Erreurs de diameter	- Erreurs dans l'utilisation des équipements de mesure ; - Erreurs dans les méthodes de mesure.	- Conseils sur l'utilisation correcte des équipements de mesure ; - Conseils pour une mesure correcte.

Erreurs dans la hauteur des arbres	- Erreurs dans l'utilisation des équipements de mesure ; - Erreurs dans les méthodes de mesure	- Conseils sur l'utilisation correcte des équipements de mesure ; - Conseils pour la sélection des arbres à mesurer ; - Orientations sur les mesures appropriées

Les erreurs peuvent être dues à des difficultés de compréhension des manuels de terrain et à des incompréhensions de la part des enquêteurs. Par conséquent, les résultats de l'enquête CQ peuvent être utilisés pour rendre le manuel plus facile à comprendre, en particulier pour les items de l'enquête ICF qui sont sujets à des erreurs, et pour corriger tout malentendu dans le manuel.

Comme des erreurs peuvent également être introduites par ceux qui mènent la AQ/CQ, les résultats des enquêtes de CQ sont utilisés pour améliorer les capacités et les méthodes en vue d'une mise en œuvre efficace et appropriée de la AQ/CQ.
Les résultats de l'enquête CQ pourraient être utilisés pour améliorer les capacités et les méthodes de AQ/CQ, comme le montre le Tableau 4.

Table 4 : Utilisation des résultats de l'enquête CQ pour améliorer les capacités et les méthodes de AQ/CQ

Exemples d'erreurs	Exemples de causes	Utilisation du renforcement des capacités pour AQ/CQ
Erreur dans le nombre d'arbres sur pied	- Mauvais réglage de la parcelle ; - Erreurs dans l'arbre cible de la mesure	- Examen des méthodes de reproduction des parcelles ; - Examen des méthodes de vérification appropriées à la taille de la parcelle (emplacement des pieux, distance entre les pieux) ; - Examen des critères permettant de déterminer si les arbres sur pied sont dans/hors des placettes et des méthodes de vérification appropriées.
Erreur de diamètre	- Erreurs dans l'utilisation des équipements de mesure ; - Erreurs dans les méthodes de mesure.	- Prise en compte des méthodes de vérification appropriées pour les erreurs ; - Prise en compte des méthodes de mesure appropriées
Erreurs dans la hauteur des arbres	- Erreurs dans l'utilisation des équipements de mesure ;	- Prise en compte des méthodes de vérification appropriées pour les erreurs ;

	- Erreurs dans les méthodes de mesure.	- Prise en compte des méthodes de mesure appropriées.

Outre les améliorations de la capacité et de la technologie du côté de AQ/CQ décrites ci-dessus, les résultats des enquêtes CQ sont également utilisés pour résumer les résultats de la mise en œuvre des enquêtes CQ et optimiser la conception des enquêtes AQ/CQ. Optimiser la conception de l'enquête QA/QC signifie, par exemple, se demander s'il faut effectuer des contrôles à l'aveugle ou à froid dans le cadre de l'enquête QC, et si des contrôles à froid sont effectués, s'il faut ajouter un processus permettant d'examiner et d'enregistrer les causes des erreurs de mesure sur le terrain.

Une autre considération pour optimiser la conception de l'enquête QA/QC est de savoir si tous les arbres mesurés par l'ICF doivent être soumis à une vérification des éléments quantitatifs de l'enquête (par exemple, le nombre d'arbres, la mesure du diamètre, la mesure de la hauteur des arbres (et d'autres éléments liés aux enquêtes sur les peuplements), etc.), ou si la vérification doit être limitée à un nombre restreint d'arbres.

En outre, la question de savoir si tous les éléments de l'enquête qualitative doivent être validés ou seulement ceux dont la reproductibilité est élevée (type de forêt, utilisation du sol, couverture du sol, végétation, etc.) sera examinée pour optimiser la conception de l'enquête QA/QC, sur la base du résumé de l'enquête QC.

III. PROCEDURE D'ASSURANCE QUALITE/CONTROLE QUALITE

3.1. Répartition des tâches et composition des équipes

La conduite des opérations d'AQ/CQ doit être entreprise par des équipes expérimentées et encadrées par un protocole à respecter de manière scrupuleuse.
Les opérations d'AQ/CQ sont réalisées par 3 équipes coordonnées une unité technique. Il s'agit de :

- Équipe de contrôle-terrain ;
- Équipe de contrôle-saisie ;
- Équipe de contrôle-gestion de la base des données.

3.1.1. Équipe de contrôle-terrain

Les experts retenus pour les opérations de l'AQ/CQ au niveau de terrain devront présenter : i) Une bonne connaissance et expérience dans l'exécution de travaux d'inventaires forestiers ; ii) une bonne compréhension et maîtrise de la méthodologie ; iii) une bonne maîtrise des matériels et équipements de terrain (GPS, Boussole, Vertex, Trupulse, etc.) ; iv) une solide compétences en botanique ; v) une bonne condition physique et des aptitudes pour les travaux manuels et forestiers ; vi) des capacités d'adaptation, d'observation et d'orientation (FAO, 2018).

3.1.1.1. Données à collecter

Les données ci-dessous sont à collecter sur le terrain :

- Dhp ;
- Hauteur totale ;
- Noms scientifiques ;
- Coordonnées géographiques de point d'arrivé, les 4 coins et le centre (précision de 3-8m) ;
- Positionnement des arbres ;
- Matérialisation de la parcelle.

3.1.1.2. Composition de l'équipe

Une équipe de l'AQ/CQ est composée de quatre techniciens : un chef d'équipe, un chef d'équipe adjoint, un botaniste et un assistant botaniste. En plus du personnel technique, les équipes seront renforcées par trois ou quatre personnes recrutées localement et pouvant servir de guides, de porteurs, de cuisinier, macheteur, jaloneur, etc.)[4].

a) Chef d'équipe

Le chef d'équipe doit être ingénieur forestier disposant d'une solide expérience en inventaires forestiers, est chargé d'organiser toutes les étapes du travail de terrain, depuis la phase de préparation à la collecte des données. Plus particulièrement, le chef d'équipe aura la responsabilité de :

- Préparer le travail de terrain, le matériel et les documents nécessaires, les cartes d'accès et les fiches de terrain ;
- Prendre contact avec les autorités et les services techniques locaux ; présenter les objectifs de la mission ainsi que le planning des activités ;
- Gérer la localisation et l'accès aux UE et aux parcelles ;
- S'occuper des aspects logistiques en organisant le logement (y compris les repas, campement) ;
- Recruter les manœuvres/guides locaux ;
- Planifier/organiser les entrevues à réaliser dans le cadre des enquêtes socio-économiques ;
- S'assurer que les fiches de terrain soient remplies correctement, que les prises de notes soient complètes et que les données collectées soient fiables ;
- Organiser et garantir la sécurité du travail sur le terrain (trousse de secours, soutien des autorités locales/protection armée si nécessaire, réduction des risques pour la faune et la flore) ;
- Maintenir un esprit positif dans l'équipe.

[4] Manuel de terrain de l'INF RDC, Version 2019

b) Assistant du chef d'équipe

L'assistant du chef d'équipe doit être un technicien de sondage disposant également d'une solide expérience en inventaires forestiers, aide le chef d'équipe dans ses différentes tâches. Plus particulièrement, l'assistant du chef d'équipe aura la responsabilité de :

- Faciliter l'accès à l'UE en se servant d'un guide qui connaisse très bien la zone d'étude ;
- Effectuer les mesures ou observations nécessaires et réaliser les interviews ;
- Veiller à ce que le matériel de l'équipe soit toujours complet et en état de marche ;
- Superviser et orienter les manœuvres temporaires ;
- Remplir les fonctions de chef d'équipe en cas d'indisposition de de ce dernier.

c) Botanistes

Les botanistes doivent être spécialistes en reconnaissance des essences forestières (et qui maîtrise les essences locales). Ils sont responsables de l'identification, de la collecte et de la conservation des échantillons botaniques.
Les botanistes peuvent également appuyer le chef d'équipe et son adjoint pour la réalisation des autres travaux d'inventaire (inscription des numéros sur les arbres, mesures des diamètres et hauteurs, collecte des échantillons de sol, etc.).

d) Ouvriers

Les ouvriers recrutés localement peuvent :

- Transporter le matériel ;
- Renseigner l'accès aux sites ;
- Ouvrir des layons pour faciliter l'accès et la visibilité aux techniciens ;
- Fournir des informations sur la gestion et les différentes utilisations des ressources naturelles ;
- Aider à mesurer les distances ;
- Donner le nom commun/vernaculaire des arbres, plantes et espèces fauniques, etc.

3.1.2. Équipe de contrôle-saisie

Cette équipe est composée des vérificateurs et des informaticiens. Elle a pour tâche de contrôler les fiches qui rentre du terrain. Lorsque les fiches arrivent au Bureau, l'équipe vérifie que toutes les fiches sont effectivement présentes et prêtes à être saisies. Si le fiches sont manquantes, elle devra résoudre ce problème avec l'aide de l'équipe de terrain.
Sa deuxième tâche consiste à rechercher et à traiter les incohérences relevées par le logiciel ou lors de la saisie.

3.1.3. Équipe de contrôle-gestion de la base des données.

Avant toute analyse, il est important de mettre en place un contrôle final de la qualité des données suivi d'une épuration et des corrections.

Les actions de contrôle qualité suivantes doivent être accomplies au cours de la gestion de la base de données :

- Vérification supplémentaire des données au bureau : Les contrôles de validation, qui auraient dû être menés sur le terrain, doivent être appliqués aux données brutes, particulièrement si l'on n'a pas utilisé un enregistreur de données de terrain. Les données brutes doivent être archivées et tout changement doit être appliqué à une copie. Des contrôles approfondis peuvent être faits en utilisant des statistiques graphiques et sommaires afin d'identifier les valeurs aberrantes et de les soumettre à un examen ultérieur. Enfin, des méthodes appropriées destinées à compléter les valeurs manquantes ou à corriger des valeurs manifestement incorrectes doivent être élaborées et mises en œuvre, quand c'est possible.
- Vérification des valeurs prétendument aberrantes avant d'être éliminées. Elles peuvent représenter des cas extrêmes, et non des erreurs.
- Fournir des protocoles d'épuration des données et les appliquer à la base de données de manière à assurer la cohérence des données.
- Quand des modifications sont effectuées, enregistrer pourquoi et comment ces changements sont réalisés (par exemple si une valeur aberrante est exclue, expliquer pourquoi).[5]

3.2. Exécution des missions de terrain pour le CQ

3.2.1. Choix d'unité d'échantillonnage (UE) à contrôler

De manière générale, l'ampleur des opérations de CQ de la collecte des données de l'ICF varie en fonction du niveau d'autodiscipline des différents intervenants eu égard au respect du protocole de collecte des données sur le terrain. Plus le manque d'autodiscipline est grand, plus les besoins en CQ sont importants. A priori, il est convenu d'organiser le Contrôle Qualité par la remesure d'au moins 10 % du nombre total d'Unités d'Echantillonnage (UE) de l'ICF, en sélectionnant les UE de contrôle selon un échantillonnage aléatoire stratifié en fonction des différentes équipes de collecte des données. Cette sélection doit permettre de contrôler la qualité du travail effectué par l'ensemble des équipes de terrain.
Idéalement, les UE ciblées pour les enquêtes CQ ne devraient pas être biaisées vers des états ou des types de forêts particuliers, mais pour assurer la sécurité de l'équipe d'enquête et garantir l'obtention de données pour l'analyse, les critères suivants devraient être utilisés pour la sélection :

- Sécurité : Effectuer des enquêtes CQ dans les UE dans les zones sûres. Décider d'envoyer ou non des équipes d'enquêteurs dans les zones en conflit ou et dans les zones endémiques d'Ebola et d'autres maladies infectieuses, en tenant pleinement compte de la situation.
- Accessibilité : Sélectionnez des UE faciles à atteindre. Pour assurer une collecte de données en tenant compte du coût et du temps.

[5] Directives volontaires sur le suivi national des forêts, 2017 FAO (P66-67)

- Occupation du sol : Sélectionnez les UE qui peuvent fournir les données pouvant faire l'objet d'une analyse statistique. Pour assurer la collecte de données pouvant être analysées pour la qualité de l'inventaire forestier et stratifier l'utilisation des terres et éviter les UE comportant uniquement des terres nues ou cultivées.

En plus des critères énumérés ci-dessus, il faut s'assurer que les différentes parcelles de l'UE à contrôler ont été entièrement inventoriées et qu'au moins une UE réalisée par chaque équipe de l'étude ICF est sélectionnée.

3.2.2. Préparation de la mission

La préparation de la mission consiste de déterminer les besoins humains, matériels et financiers pour la réalisation de la mission. Toutes les questions administratives, financières, techniques, logistiques, de sécurité et même la définition des échéanciers doivent impérativement être réglées avant le début effectif de la mission. Ainsi, dès que la mission est programmée, le superviseur (chef d'équipe ou coordonnateur) doit tenir une séance de travail avec son équipe en vue de circonscrire davantage les objectifs de la mission et d'arrêter les modalités pratiques de son exécution.

3.2.2.1. Aspects administratifs

Préalablement à la mission de terrain, plusieurs démarches administratives doivent être entreprises par le chef d'équipe : Faire signer l'ordre de mission par les responsables hiérarchiques compétents. L'ordre de mission étant le texte qui donne toute sa légalité et sa régularité à la mission, il doit être préparé par l'Unité Technique (UT) et déposé pour signature auprès du responsable hiérarchique.

3.2.2.2. Aspects financiers

Le CQ étant une activité importante mais aussi coûteuse. Lors de l'élaboration du budget de l'inventaire du carbone forestier, il est impérieux de prévoir aussi le budget de son CQ.
L'Unité Technique (UT) est appelée à élaborer le budget pour la réalisation du CQ, et le soumettre au niveau de la finance pour appréciation et disponibilité des fonds aux équipes.

3.2.2.3. Aspects techniques

Parmi les aspects techniques, il y a :

- Planifier la mission avec l'UT. Cette dernière pourra appuyer l'équipe de CQ pour la planification de la mission, que ce soit en termes techniques et logistiques ;
- Déterminer le nombre des UE à contrôler (10% du total des UE) ;
- Se conformer à la méthodologie utilisée lors de l'inventaire ;
- Faire l'étalonnage des appareils qui nécessitent cette opération ;

3.2.2.4. Aspects logistiques

En étroite concertation avec l'UT, il s'agira pour le chef d'équipe d'effectuer les tâches suivantes :

- Vérifier l'état des routes : Cette vérification peut se faire à travers les contacts sur le terrain, qui ont généralement de meilleures informations, actualisées, sur la

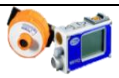
praticabilité ou non d'une route, la navigabilité ou non d'un cours d'eau, et le fonctionnement d'un chemin fer.

- Vérifier la disponibilité et l'état du matériel : Il s'agira de faire l'état des lieux des équipements disponibles, de recharger les batteries, de s'assurer de l'état des véhicules et de se procurer les différents consommables ;
- Regrouper tous les documents techniques utiles aux travaux de CQ. Les documents techniques utiles à l'exécution des travaux de CQ comprennent le manuel et les fiches de terrain ainsi que le protocole de CQ.

3.2.2.5. Matériels & équipements

Les matériels et équipements de terrain concernent l'ensemble des outils, appareils, pièces et consommables essentiels pour le travail de collecte des données de l'ICF. De façon pratique, le chef d'équipe doit s'assurer de la disponibilité et/ou de l'état de fonctionnement de matériels et équipements (Tableau 2).

Table 5 : Liste de matériel de terrain

N°	Matériel	N°	Matériel (suite)	N°	Matériel
1	GPS	16	Tentes individuelle	29	Peinture à huile
2	Boussole	17	Tenues de terrain + Cagoule + Gants	30	Craie forestière
3	Vertex 	18	Bottes	31	Pinceau
4	Trupulse	19	Imperméables	32	Machette + lime
5	Thuraya	20	Sacs à dos imperméable	33	Manuel de terrain
6	Appareil photo	21	Gourdes portatives de 1 litre	34	Protocole de CQ
7	Jumelle	22	Lampes torches	35	Carnets

8	Détecteurs de métaux	23	Torches frontale	36	Stylos, Crayon, Gommes
9	Ruban diamétrique	24	Piles	37	Feutre permanent
10	Ruban métrique	25	Bâche en plastique	38	Fiches de terrain
11	Ruban de signalization	26	Trousse de secours	39	Étuis en plastique
12	Sécateur	27	Corde nylon super	40	Pastilles purification eau
13	Perche et ébrancheur	28	Sous-main		
14	Echelle télescopique				
15	Presse à herbier				

3.2.2.6. Conditions de sécurité

Le chef d'équipe doit s'assurer de la sécurité du personnel sur le terrain. Pour ce faire, il doit s'informer, préalablement au déploiement de l'équipe sur le terrain, des différentes questions sécuritaires dans la zone prévue pour les travaux de terrain :

- Y a-t-il des groupes armés dans la zone de la mission ? ;
- Quels sont les hôpitaux les plus proches ? ;
- Y a-t-il des postes de police présents dans la zone ?

Préalablement au déploiement effectif sur le terrain, il y a lieu de prendre un rendez-vous avec l'autorité administrative de la localité pour discuter des questions de sécurité et s'assurer de leur soutien pour le bon déroulement de la mission.

3.2.3. Éléments stratégiques

Les éléments stratégiques suivants, doivent être respectés lors de la mise en œuvre de l'AQ/CQ :

- Respect des éléments normatifs d'AQ/CQ dans l'ICF (tels que : les mensurations, composition des équipes, le protocole, etc.) ;
- Toutes les équipes de terrain doivent être évaluées ;
- Choix des structures et composition des équipes de travail : prendre en compte les compétences et expériences du personnel d'une Structure accréditée ;
- Environ 10% des UE de terrain doivent être vérifiés ;
- Tous les points d'échantillonnage doivent avoir la même probabilité d'être contrôlés ;
- Les contrôles à chaud doivent commencer tôt au cours de la mise en œuvre de l'inventaire de terrain de manière à s'assurer que des erreurs corrigeables ne soient pas commises pendant une longue période de mesure ;
- Détermination de la stratégie de supervision à mettre en œuvre ;
- Passer faire le contrôle pendant que les traces (les numéros des arbres, les marquages, les layons, etc.) de l'équipe précédentes sont encore visibles, endéans 3 mois ;
- Au cas où les mêmes équipes d'inventaire seraient retenues pour le contrôle au terrain, il est indiqué de procéder par la permutation de ces équipes dans les UE ;
- Déterminer les éléments de contrôle :
- Recherche et identification du point de départ de l'UE ;
- Vérifier si l'équipe a réellement installé l'UE conformément aux coordonnés géographiques fournies :
- A l'aide d'un GPS, dans un premier temps, il s'agit de s'approcher au plus près du point de départ, conformément aux coordonnés géographiques fournies (avec une précision GPS de 3m - 8m par rapport au couvert forestier).
- Dans un deuxième temps, à l'aide du détecteur de métaux, il faut rechercher le marqueur métallique afin de vérifier qu'il a été installé et savoir par où commence la parcelle ;
- Vérifier que l'ensemble des points de repères sont bien réels et visibles.
- Délimiter la parcelle pour le contrôle ;
- Vérifier l'orientation des layons (angle), le quadrillage de la parcelle, la superficie de la parcelle, des blocs et des quadrants ;
- Dénombrer les arbres sur pied présents dans la parcelle (mesure de dhp et hauteur, identification des arbres « famille, genre/espèce et nom local » ;
- Pour les arbres qui n'ont pas été dénombrés par l'équipe de l'étude ICF, il est bien conseillé de les attribuer des nouveaux numéros en se référant au dernier numéro +1 des arbres présents dans la parcelle ;
- Collecter un échantillon botanique des essences non identifiées.
- Il est nécessaire de bien préparer les équipes de terrain, de bien étalonner les instruments de mesure (pour les variables de mesure métriques), de disposer de listes

de classes complètes (pour les variables catégoriques) et de clés d'identification (par exemple pour les variables nominales telles que les espèces d'arbres) ;

- Bien que cela soit souvent ignoré ou sous-estimé, un autre facteur important pour maintenir des normes de qualité élevées est la nécessité de montrer que l'on apprécie le travail des équipes de terrain et d'entretenir leur motivation (Directives volontaires sur le suivi national des forêts, FAO, 2017) ;
- L'AQ/CQ est une activité importante mais aussi coûteuse. Lors de l'élaboration du budget de l'inventaire forestier, il est impérieux de prévoir aussi le budget de son AQ/CQ.

Les enquêtes CQ sont menées dans le but d'évaluer la qualité des données de l'Inventaire du carbone forestier (ICF), et les données sont la base de l'évaluation de la qualité. L'enquête CQ collectera donc des données conformément au manuel d'Inventaire Forestier National.

Par exemple, le nombre d'arbres sur pied dans une parcelle ainsi que leur diamètre et leur hauteur sont des données importantes pour le calcul du Facteur d'Emission (FE en sigle). Par conséquent, l'enquête CQ est nécessaire pour établir les limites de la placette aussi précisément que possible, pour déterminer les arbres sur pied inclus dans la placette, pour mesurer le diamètre et la hauteur des arbres selon des méthodes manuelles et pour enregistrer correctement les valeurs mesurées.

Bien que les valeurs de positionnement GPS soient des informations numériques, il existe de grandes différences dans les valeurs de positionnement en fonction de l'emplacement des satellites GPS, de la topographie et de l'orientation de la pente du lieu à localiser, et des performances du récepteur. Par conséquent, une comparaison précise des résultats de positionnement de l'IFC et de l'enquête CQ n'est pas très significative, et il est nécessaire de vérifier si les valeurs de positionnement GPS ne sont pas fausses au point d'affecter la reproduction des parcelles.

Il n'est pas non plus très significatif de comparer les données de l'ICF et des enquêtes QC avec les informations sur l'UE et les zones environnantes, les cartes schématiques d'accès, les enquêtes sur la faune, les enquêtes sur la classification de l'utilisation des terres et les enquêtes socio-économiques. Par exemple, même si l'espèce animale A n'est pas enregistrée dans l'ICF mais dans l'enquête CQ dans l'enquête sur la faune, il s'agit seulement de savoir si elle a pu ou non être observée au moment de chaque enquête, et la divergence d'enregistrement ne signifie pas que les données de l'ICF sont erronées. Pour ces éléments d'enquête, l'enquête CQ exige que les enregistrements ne soient pas omis, qu'ils ne soient pas exagérés ou fabriqués, et que la mention "Aucune donnée" soit écrite au lieu d'être laissée en blanc lorsqu'il n'y a pas de contenu enregistré.

En outre, l'échantillonnage du sol/de la tourbe est inclus dans les éléments d'enquête de l'ICF, mais en raison de sa faible reproductibilité, il ne devrait pas être effectué dans l'enquête CQ.

3.3. Schéma de processus d'AQ/CQ

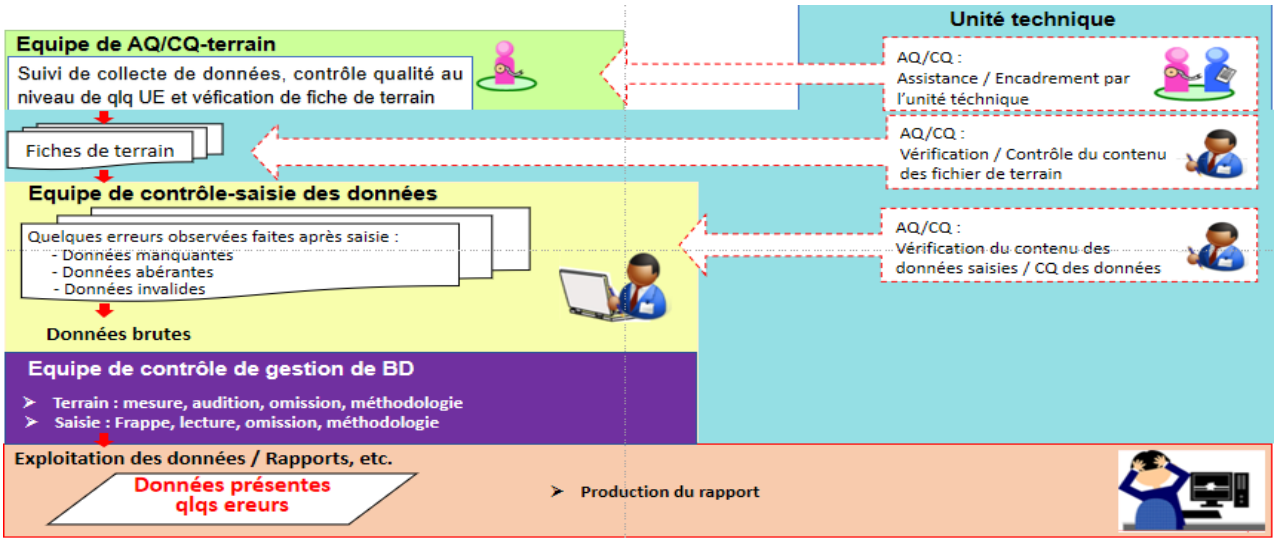


Figure 2 : Schéma du processus de l'AQ/CQ

IV. ANALYSE DES DONNEES OBTENUES LORS DES ETUDES ICF ET CQ

4.1. Objectif de l'analyse des données

L'objectif de l'analyse des données de l'étude CQ est de comparer les données, telles que les différentes valeurs mesurées, obtenues par deux équipes indépendantes (équipe d'inventaire de carbone forestier et équipe CQ), et de clarifier les erreurs dans les données. Cette analyse peut révéler le degré des erreurs (par exemple les valeurs absolues ou relatives de la différence entre les valeurs mesurées des deux équipes) et la tendance des erreurs, ce qui peut indiquer la qualité des données de l'inventaire. En plus, le feedback des résultats de l'analyse pour l'équipe d'inventaire de carbone forestier permet d'éviter les mêmes types d'erreurs dans l'étude de terrain à avenir.

Par ailleurs, si l'analyse des données obtenues dans l'étude CQ montre une erreur, l'UT peut apprécier le remplacement d'une donnée d'inventaire par une donnée CQ.

Cette partie décrit l'analyse des données de l'étude sur les arbres sur pied, qui constituent le noyau des données d'inventaire de carbone forestier.

Dans le cadre de ce guide, le tableur Excel est utilisé pour traiter et analyser les données provenant des études ICF et de CQ.

4.2. Présentation des erreurs et différentes analyses à effectuer

4.2.1. Erreur d'identification des arbres

L'estimation de la biomasse forestière par une équation allométrique, nécessite l'utilisation de deux ou trois paramètres parmi lesquels figure la densité du bois. Cette dernière varie selon l'espèce, d'où la nécessité d'une bonne identification des arbres.

Il est nécessaire de comparer les résultats de l'identification réalisée par le botaniste de l'équipe ICF avec ceux obtenus par l'équipe CQ, afin de mesurer le degré de concordance. Le coefficient Kappa de Cohen sera utilisé pour cela, avec la formule suivante (Bernard et al. 2009).

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} \quad \text{(Eq 1)}$$

D'où :

- K : Coefficient Kappa de Cohen
- Po (Proportion de l'accord ou concordance observée) : Est le nombre d'espèces identifiées par les 2 botanistes/le nombre d'espèce total ;
- Pe (Proportion hypothétique de la probabilité ou accord attendu par hasard) :

Si K6 : < 0 : Grand désaccord ; 0 - 0,20 : Accord très faible ; 0,21 - 0,40 : Accord faible ; 0,41 - 0,60 : Accord moyen ; 0,61 - 0,80 : Accord satisfaisant ; 0,81 - 1,00 : Accord excellent.

4.2.2. Erreur de mesure

Les principales erreurs de mesure d'un arbre sur pied sont les erreurs de mesure du diamètre et de la hauteur d'arbre.

En général, l'erreur de mesure est définie comme « valeur mesurée - valeur vraie », tel que présenté dans la formule ci-dessous (Equation 2).

$$Erreur\ de\ mesure\ =\ Valeur\ de\ mesure\ de\ l'ICF\ -\ Valeur\ de\ mesure\ du\ CQ \quad \text{(Eq 2)}$$

4.2.3. Erreur relative

L'erreur de mesure calculée par « valeurs mesurées de l'ICF – valeurs mesurées dans l'étude CQ » permet de savoir si l'erreur de mesure se trouve du côté de sur-mesure ou de sous-mesure et de connaître la valeur absolue de l'erreur de mesure. Cependant, même si l'erreur de mesure est la même, la taille de l'erreur de mesure est différente dans la taille de l'erreur de mesure en fonction de la taille d'un arbre sur pied. Par exemple, un arbre sur pied ayant 10 cm de DHP et un arbre sur pied ayant 100 cm de DHP peuvent avoir la même erreur de mesure du diamètre de 1 cm, mais l'importance de l'erreur est différente. De même, un arbre sur pied de 10 m de hauteur et un arbre sur pied de 40 m de hauteur présentent la même erreur de mesure de la hauteur de 2 m, mais l'importance relative de l'erreur est différente.

Dans la mesure de chaque arbre sur pied, l'erreur de mesure révélée par l'étude CQ doit être comparée après avoir relativisé l'erreur.

L'erreur relative est définie par la formule ci-dessous (Equation 3).

$$Er = \frac{|Valeur\ mesurée\ de\ l'ICF - Valeur\ mesurée\ du\ CQ|}{|Valeur\ mesurée\ du\ CQ|} \times 100 \quad \text{(Eq 3)}$$

La « valeur mesurée » dans la formule peut être remplacée par « nombre d'arbres sur pied » ou « dhp » ou « hauteur totale » ou « biomasse ».

[6] https://www.bonobosworld.org/fr/glossaire/coefficient-de-concordance-kappa-de-cohen

4.2.4. Erreur relative moyenne

L'erreur relative (Erm) peut être utilisée pour identifier les mesures individuelles présentant des erreurs de mesure relativement importantes, ou pour obtenir des moyennes par parcelle. La moyenne parcellaire de l'erreur relative est définie par la formule ci-dessous (Equation 4).

$$Erm = \frac{\sum(Er)}{Nombre\ d'échantillons à\ évaluer} \quad \text{(Eq 4)}$$

4.2.5. Écart-type

L'écart-type (SD) est un indicateur qui montre un degré de dispersion des données autour de la moyenne. L'écart-type de l'erreur relative est définie par la formule ci-dessous (Equation 5).

$$SDEr = \sqrt{\frac{\sum(Er-Erm)^2}{Nombre\ d'échantillons\ à\ évaluer}} \quad \text{(Eq 5)}$$

4.2.6. Erreur-type

L'erreur type (SE) est une mesure de l'erreur d'estimation. Elle est importante car elle permet de quantifier l'incertitude autour d'une estimation de la moyenne. Elle est utilisée pour calculer des intervalles de confiance et pour tester des hypothèses statistiques. Plus la taille de l'échantillon est grande, plus l'erreur type est petite, ce qui indique une estimation plus précise de la moyenne de la population

L'erreur-type (SE) est définie par la formule ci-dessous (Equation 6).

$$SE = \frac{SDEr}{\sqrt{Nombre\ d'échantillons\ à\ évaluer}} \quad \text{(Eq 6)}$$

4.2.7. Intervalle de confiance

En statistique, l'intervalle de confiance (IC) est une plage de valeurs qui estime avec un certain niveau de certitude où se situe la vraie valeur d'un paramètre de population inconnue, comme une moyenne, une médiane ou une variance.

Le niveau de confiance indique la probabilité que l'intervalle de confiance contienne la vraie valeur du paramètre. Par exemple, un intervalle de confiance à 95% signifie qu'on peut s'attendre à ce que 95% des intervalles de confiance calculés à partir de répétitions indépendantes de l'étude contiennent la vraie valeur du paramètre.

C'est un outil essentiel pour évaluer la fiabilité des estimations statistiques et pour communiquer l'incertitude associée à ces estimations.

L'IC à 95% est définie par la formule ci-dessous (Equation 7) :

$$Intervalle\ de\ confiance\ \text{à}\ 95\% = Erm \pm t \times SE$$

Où : t = 2,262 ≈ 2 (Eq 7)

4.2.8. Racine de l'erreur quadratique moyenne

La racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE : Root Mean Squared Error) : Est un indicateur qui accorde de l'importance aux erreurs de mesure plus importantes. Plus cette valeur est petite, plus l'erreur peut être considérée comme faible.

RMSE est définie par la formule ci-dessous (Equation 8).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Erreur\ ICF - Erreur\ CQ\ )^2}{Nombre\ d'échantillons\ à\ évaluer}} \qquad \text{(Eq 8)}$$

4.3. Traitement des données

Les données à traiter sont celles de l'équipe d'inventaire de carbone forestier et de l'équipe CQ. On fait l'extraction des 2 sources des données pour constituer un seul fichier (ex : pour Excel, cela représente un classeur).
Les éléments d'étude particulièrement importants dans les données à traiter sont le nombre d'arbres sur pied, le diamètre à hauteur de poitrine (dhp), la hauteur totale de l'arbre et les noms scientifiques.

4.3.1. Intégration des données dans un seul fichier

L'intégration des données consiste à créer le fichier (classeur) regroupant les données sur le dénombrement des arbres pour l'équipe d'ICF (feuille des données IFC) et l'équipe CQ (feuille des données CQ), en tenant compte des UE concernées par l'étude CQ.
Le processus d'intégration consiste simplement à copier les données de chaque UE et à les coller dans les feuilles du classeur Excel destiné à l'intégration des données. Ce processus crée les données intégrées pour l'ICF et les données intégrées pour l'étude CQ.

a) Faire démarrer un nouveau fichier Excel pour l'intégration des données, et l'enregistrer sous un autre nom par exemple « CQ_arbres_analysis », etc.

b) Changer les noms des feuilles de manière à être plus faciles à comprendre, par exemple « arbres_ICF » pour les feuilles destinées à l'intégration des données de l'inventaire de carbone forestier, ou « arbres_CQ » pour les feuilles destinées à l'intégration des données de l'étude CQ.

c) Copier les données du fichier « CQ_arbres_analysis.xlsx » de chaque UE et les coller dans la feuille destinée à l'intégration des données.

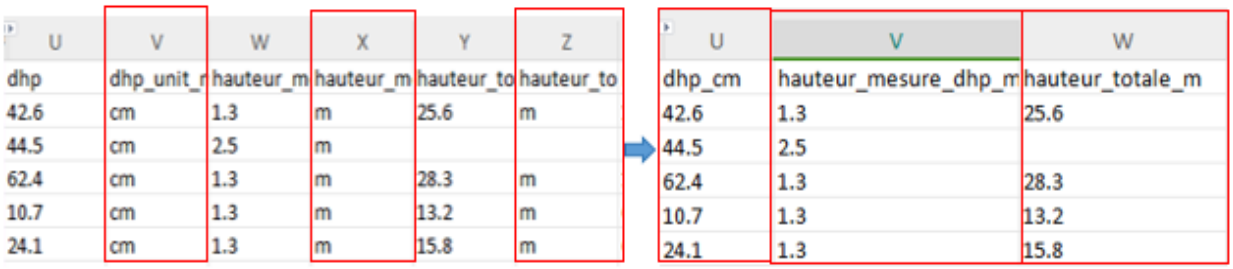
d) Intégrer les données ICF dans l'ICF et les données de l'étude CQ dans l'étude CQ.

e) Copier et coller les données contenant les paramètres suivants : identité de l'UE par source (id-ue), identité de la parcelle (id-parcelle), numéro ruban/numéro arbre, bloc, quadrant, positionnement des arbres (y, x gauche et x droite), noms scientifiques, noms locaux, dhp, niveau de mesure de dhp, hauteur totale, état de santé et observations (Figure 3).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	ue_id	id_parcelle	n_arbre	n_ruban	n_bloc	n_quandrant	position_y	position_x_gauche	position_x_droite	noms_scientifique	dhp	classe_dhp
2	15CQ	1	1	773	1	1	2.4	3.7		Heisteria parvifolia	11,7	10≥<20
3	15CQ	1	2	774	1	1	4.5	3.5		Hymenocardia ulmoide	11,8	10≥<20
4	15CQ	1	3	775	1	1	6	1.2		Klainedoxa gabonensi	13,7	10≥<20
5	15CQ	1	4	776	1	1	9.7	2.1		Garcinia ovalifolia	11,5	10≥<20
6	15CQ	1	5	783	1	1	18	1		Copaifera mildbraedii	50,1	20≥

Figure 3 : Données intégrées de l'étude CQ

f) Ajouter à la fin du nom de chaque valeur mesurée, l'unité de mesure et supprimer la colonne de l'unité pour faciliter le traitement des données (Figure 4) : Dans la figure 4, les colonnes V, X, Z et AB sont supprimées.



U	V	W	X	Y	Z
dhp	dhp_unit_r	hauteur_m	hauteur_m	hauteur_to	hauteur_to
42.6	cm	1.3	m	25.6	m
44.5	cm	2.5	m		
62.4	cm	1.3	m	28.3	m
10.7	cm	1.3	m	13.2	m
24.1	cm	1.3	m	15.8	m

U	V	W
dhp_cm	hauteur_mesure_dhp_m	hauteur_totale_m
42.6	1.3	25.6
44.5	2.5	
62.4	1.3	28.3
10.7	1.3	13.2
24.1	1.3	15.8

Figure 4 : Suppression des colonnes inutiles

4.3.2. Attribution de la Classe DHP

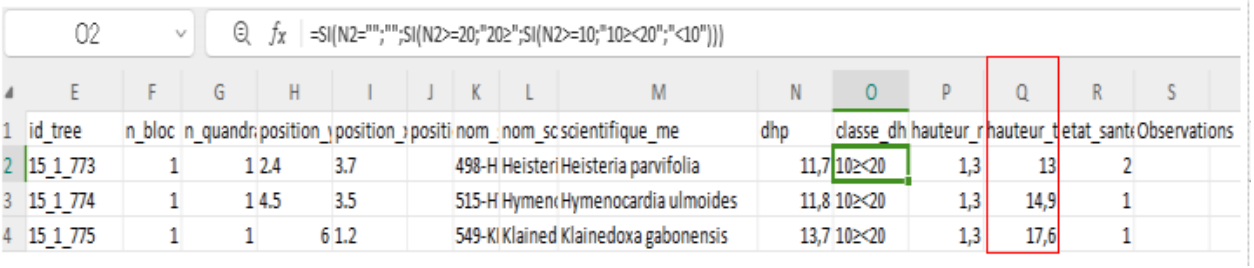
Dans la conception de l'étude ICF, il est indispensable de repartir les arbres par classe de diamètre, pour permettre l'extrapolation de la biomasse à l'ha.

- Exemple 1: Si tous les arbres sur pied ayant un DHP de 20 cm ou plus sont mesurés dans une parcelle de 75 m x 75 m, tandis que les arbres sur pied ayant un DHP de moins de 20 cm ne sont que partiellement mesurés selon la méthodologie. (Les arbres sur pied ayant un DHP entre 10 cm et 20 cm sont mesurés dans deux sous-parcelles carrées moyennes (PCM) de 25 m x 25 m au sein de la parcelle, et les arbres sur pied ayant un DHP inférieure à 10 cm (de 5 cm à 9,9 cm) sont mesurés dans deux petite sous-parcelle carrée (PPC) de 12,5 m x 12,5 m au sein de la parcelle.

À cet effet, dans l'analyse décrite au point 3.7 (en particulier, l'analyse de la biomasse), il est nécessaire de faire la pondération en fonction de la classe DHP de chaque arbre sur pied pour la conversion en ha. Par conséquent, une nouvelle colonne est créée et la CLASSE DHP est attribuée.

a) Ajouter une nouvelle colonne aux feuilles « arbres_ICF » et « arbres_CQ » dans le fichier «CQ_arbres_analysis» après la colonne «dhp» et donner à la première cellule un nom d'élément tel que « Classe_dhp ».

b) Mettre une formule de plusieurs combinaisons de la fonction «SI» de manière à ce que la cellule « Classe_dhp » soit remplie dans toute la colonne comme suit : si la colonne DHP est vide, « » est entré, si le DHP est inférieur à 10 cm, « <10 » est entré, si le DHP a entre 10 cm et 20 cm, « 10≥<20 » est saisi et si le DHP a plus de 20 cm, « 20≥ » est entré (Figure 5).



O2 =SI(N2="";"";SI(N2>=20;"20≥";SI(N2>=10;"10≥<20";"<10")))

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	id_tree	n_bloc	n_quandr	position_	position_	positi	nom_	nom_sc	scientifique_me	dhp	classe_dh	hauteur_r	hauteur_t	etat_sant	Observations
2	15_1_773	1	1	2.4	3.7		498-H	Heisteri	Heisteria parvifolia	11,7	10≥<20	1,3	13	2	
3	15_1_774	1	1	4.5	3.5		515-H	Hymen	Hymenocardia ulmoides	11,8	10≥<20	1,3	14,9	1	
4	15_1_775	1	1	6	1.2		549-Kl	Klained	Klainedoxa gabonensis	13,7	10≥<20	1,3	17,6	1	

Figure 5 : Classe DHP attribuée à chaque arbre sur pied

Le travail d'analyse ultérieur est effectué sur les données intégrées après avoir enregistré les fichiers sous un nom différent pour chaque travail d'analyse (dhp, hauteur totale, nombre d'arbres sur pied, noms scientifiques et la biomasse).

NB : En principe, les fichiers intégrés d'origine ne doivent pas être touchés. C'est parce que, si les données sont endommagées pendant l'analyse, etc., il est possible de reproduire l'analyse à partir des données originales non traitées.

4.4. Analyse du nombre d'arbres sur pied

Le nombre excessif d'arbres sur pied dans la parcelle a un impact significatif sur la biomasse estimée à partir des données des arbres sur pied relevés dans cette parcelle. En particulier, le fait de relever ou non les arbres sur pied ayant un DHP de 20 cm ou plus (c'est-à-dire si les arbres sur pied à la périphérie de la parcelle entrent ou non dans la parcelle et si leurs mesures sont dupliquées ou manquées dans la parcelle) a un impact significatif sur l'estimation de la biomasse.
Pour procéder à l'analyse de l'erreur sur le nombre d'arbres sur pied, il est nécessaire de compter le nombre d'arbres sur pied dont le DHP a été mesuré dans les études ICF et CQ.

a) Enregistrer le fichier « CQ_arbres_analyse.xlsx » avec lequel on a fait le travail d'intégration et d'addition des données sous un autre nom, par exemple « CQ_arbres_analyse_Nombre d'arbres.xlsx ».

b) Ajouter trois nouvelles feuilles au fichier « CQ_arbres_analyse_Nombre d'arbres.xlsx » et donner respectivement les noms de « Nombre d'arbres ICF », « Nombre d'arbres CQ » et « Comparaison » à ces feuilles.

c) Utiliser le tableau croisé dynamique pour compiler le nombre d'arbres sur pied par parcelle dans les études ICF et CQ pour « Nombre d'arbres ICF » et « Nombre d'arbres CQ » (Figure 6).

    - Dans le tableau croisé dynamique, sélectionner « id_ue », « id-parcelle » comme étiquettes de ligne, « classe_dhp » comme étiquette de colonne et « classe_dhp » comme valeur.
    - Remplacer le paramètre du champ de valeur par le nombre.

d) Copier les résultats de la compilation et coller les valeurs dans la même feuille (Figure 6).

    - Copier et coller les valeurs de compilation de « id_ue », de « id_parcelle » et de « 20≥ ».

e) Insérer deux colonnes entre les valeurs collées de « id_parcelle » et de « 20 ≥ », et donner aux colonnes insérées les noms de « ICF/CQ » et de « UE-Parcelle » respectivement.

f) Dans les cellules de la colonne « ICF/CQ », entrer « ICF » pour les données ICF et « CQ » pour les données CQ.

g) Dans les cellules de la colonne « UE-Parcelle », saisir l'identifiant combiné de l'UE et de l'identifiant de la parcelle à l'aide de la fonction CONCATENER.

    - Pour CQ, combiner également la fonction SUBSTITUE.

Figure 6 : Résultats de la compilation du nombre d'arbres sur pied des études ICF et CQ

h) Coller les résultats de la compilation du nombre d'arbres sur pied de l'étude ICF et de l'étude CQ dans la feuille « Comparaison ».

- Faire correspondre les colonnes des résultats de la compilation de l'étude ICF et de l'étude CQ (ICF/QC, UE-Parcelle, 20≥) pour les coller.

i) Créer un tableau de comparaison dans un tableau croisé dynamique afin de comparer les résultats collés de la compilation du nombre d'arbres sur pied par parcelle de l'étude ICF et de l'étude CQ.

j) Pour calculer la statistique de chaque parcelle où les études ICF et CQ ont été réalisées, calculer « Erreur dans le nombre d'arbres », « Erreur au carré » et « taux d'erreur » (Figure 7).

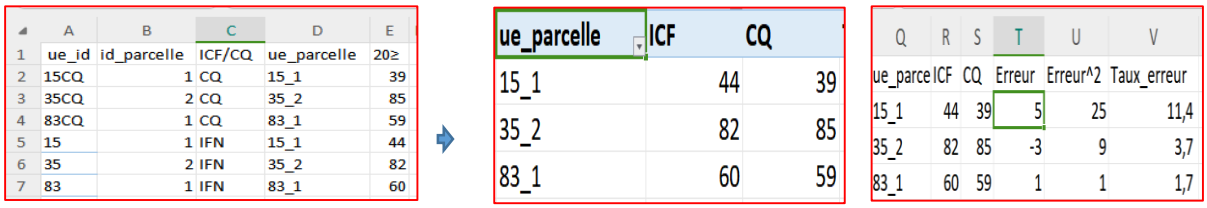


Figure 7 : Résultats de la compilation, tableau de comparaison et calcul

k) Créer un nuage de points afin de comparer le nombre d'arbres sur pied dans l'ICF et CQ.

4.5. Analyse du DHP et de la hauteur totale d'arbre

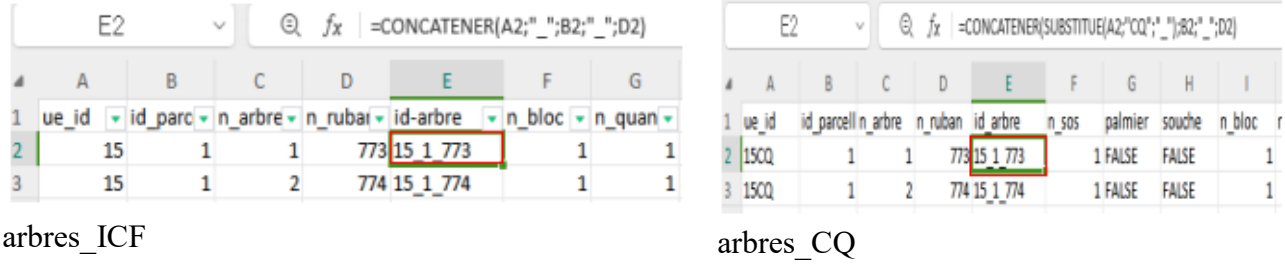
Pour analyser l'erreur de mesure du DHP et de la hauteur d'arbre, il est nécessaire de comparer les valeurs mesurées du même arbre sur pied relevé dans les études ICF et CQ. Pour ce faire, une liste des arbres sur pied relevés dans les études ICF et CQ est préparée, et les données permettant de comparer les valeurs mesurées de ces deux études sont à calculer à partir des formules détaillées au point 3.2.2 précédent.
La quantité de données nécessaires à cette tâche est trop importante pour être effectuée manuellement. À cet effet, un identifiant individuel (une combinaison de l'identifiant UE, l'identifiant de parcelle et le numéro d'arbre sur pied) est donné à chaque arbre sur pied, puis un tableau des données est à créer à l'aide de la fonction RECHERCHEV, etc.

a) Sauvegarder le fichier Excel comprenant les données intégrées sous un autre nom, par exemple « CQ_arbres_analyse_dhp_ht.xlsx »

b) Insérer une nouvelle colonne après la colonne numéro ruban/numéro arbre de la feuille « arbres_ICF » du fichier « CQ_arbres_analyse_dhp_ht.xlsx » et donner un nom à la première ligne de la colonne comme «id-arbre ».

c) Pour la feuille de « arbres_CQ », ajouter une colonne et donner un nom à cette colonne de la même manière.

d) Saisir la fonction CONCATENER pour combiner les colonnes « id_ue », « id_parcelle » et « n_ruban ou n_arbre » afin d'attribuer l'identifiant individuel à chaque arbre sur pied dans la colonne « id-arbre ». Mais si CQ est associé à l'id_ue (par exemple « 15CQ »), il ressemblera à « 15CQ_1_773 ». Cependant, «id_arbre » devant être l'identifiant commun à l'étude ICF et à l'étude CQ, il est nécessaire de supprimer « CQ » de manière à obtenir l'écriture suivante : 35_1_773. Par conséquent, les fonctions CONCATENER et SUBSTITUE sont à combiner (Figure 8).



arbres_ICF

arbres_CQ

Figure 8 : Création de la colonne id_arbre

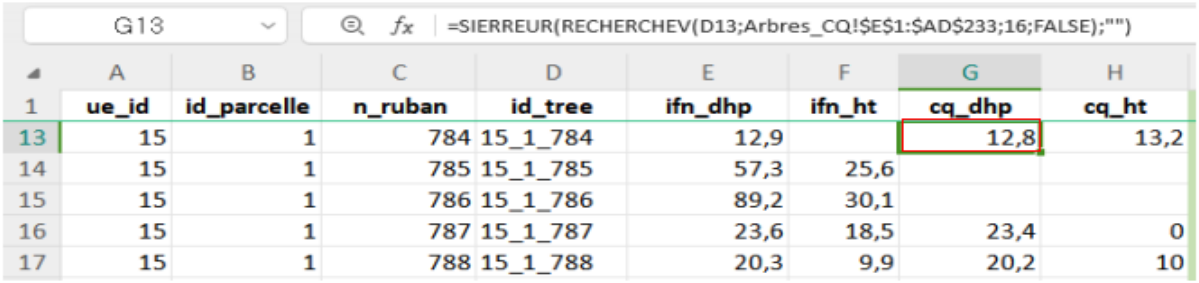
e) Créer une nouvelle feuille dans le fichier « CQ_arbres_analyse_dbp_ht.xlsx » pour arranger les données permettant de comparer les valeurs mesurées du DHP et de la hauteur d'arbre obtenues dans les études ICF et CQ.

f) Copier toutes les données des colonnes « id_ue », « id_parcelle », id_arbre », « dhp » et « ht » à partir des données de « arbres_ICF » et les coller dans la nouvelle feuille. Donner à cette nouvelle feuille un nom, par exemple « Nuage_points_dhp_ht » ou tout autre nom approprié.

g) Insérer 2 colonnes après la colonne dhp et ht, et nommer la première colonne : «CQ_dhp» et la deuxième colonne : «CQ_ht»

h) Configurer la fonction RECHERCHEV qui cite les données de « arbres_CQ » de manière à ce que les cellules de la colonne « CQ_dhp » et «CQ_ht» soient remplies respectivement par les dhp et les hauteurs relevés dans l'étude CQ pour chaque arbre sur pied (Figure 9).

- Étant donné qu'il existe des arbres sur pied qui sont mesurés dans l'étude ICF mais qui ne les sont pas dans l'étude CQ et vice-versa, il est recommandé de combiner cette fonction avec la fonction SIERREUR afin que la colonne « dhp » pour l'arbre sur pied non mesuré dans l'étude CQ soit laissée vide.
- La raison pour laquelle il faut que la colonne « dhp » pour l'arbre sur pied non mesuré soit laissée vide est que si le résultat de la fonction RECHERCHEV est #N/A, cela entraînera une erreur dans les calculs de l'analyse ultérieurs.

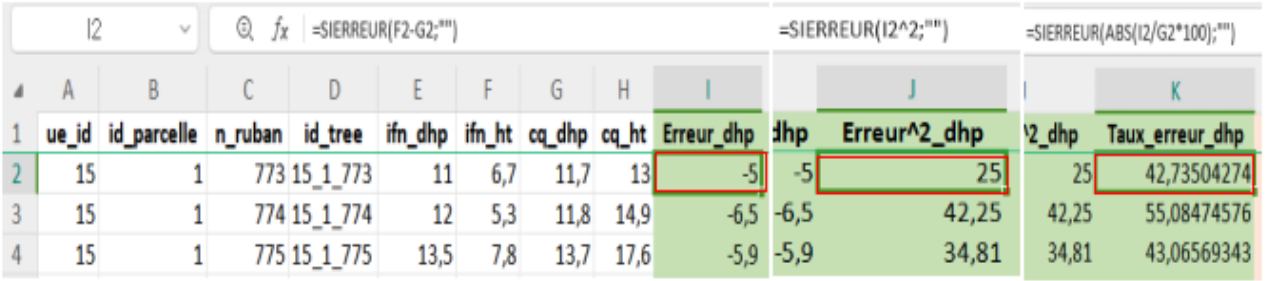


G13 | =SIERREUR(RECHERCHEV(D13;Arbres_CQ!$E$1:$AD$233;16;FALSE);"")

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ue_id	id_parcelle	n_ruban	id_tree	ifn_dhp	ifn_ht	cq_dhp	cq_ht
13	15	1	784	15_1_784	12,9		12,8	13,2
14	15	1	785	15_1_785	57,3	25,6		
15	15	1	786	15_1_786	89,2	30,1		
16	15	1	787	15_1_787	23,6	18,5	23,4	0
17	15	1	788	15_1_788	20,3	9,9	20,2	10

Figure 9 : Intégration des données pour comparer les valeurs mesurées

i) Le calcul statistique suivant est effectué sur la parcelle où les études ICF et CQ ont été réalisées : le « Erreur de mesure », « Erreur au carré » et « taux d'erreur » (Figure 10).



I2 | =SIERREUR(F2-G2;"") | =SIERREUR(I2^2;"") | =SIERREUR(ABS(I2/G2*100);"")

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ue_id	id_parcelle	n_ruban	id_tree	ifn_dhp	ifn_ht	cq_dhp	cq_ht	Erreur_dhp	dhp	Erreur^2_dhp	^2_dhp	Taux_erreur_dhp
2	15	1	773	15_1_773	11	6,7	11,7	13	-5	-5	25	25	42,73504274
3	15	1	774	15_1_774	12	5,3	11,8	14,9	-6,5	-6,5	42,25	42,25	55,08474576
4	15	1	775	15_1_775	13,5	7,8	13,7	17,6	-5,9	-5,9	34,81	34,81	43,06569343

Figure 10 : Calcul de « Erreur de mesure », « Erreur au carré » et « taux d'erreur »

j) Créer un nuage de points afin de comparer les valeurs mesurées dans les études ICF et CQ.

NB :

- L'axe x est pour les valeurs de mesure CQ et l'axe y pour les valeurs de mesure de l'ICF.
- La ligne pointillée est la ligne droite indiquant une erreur nulle.
- Les points situés au-dessus de la ligne droite peuvent être interprétés comme CQ < ICF, et les points situés en dessous de cette ligne droite, comme CQ > ICF et les points sur la ligne droite comme CQ = ICF.

k) Après le calcul statistique effectué au niveau de la figure 8, les variables ci-dessous sont calculées et présentées sous forme des résultats de la manière suivante :

- Nombre de mesures
- Erreur moyenne
- Taux d'erreur moyen
- S.D.
- S.E.
- Intervalle de confiance à 95%
- Somme erreur au carré
- RMSE

4.6. Correction des noms scientifiques et analyse de l'identification des arbres

4.6.1. Correction des noms scientifiques des arbres

Il arrive de fois que le nom scientifique ou le genre et/ou famille de l'espèce identifié soit mal écrit ou qu'une ancienne ou nouvelle appellation, selon qu'il s'agit de la classification Angiosperm Phylogeny Group (APG) II, III ou IV, soit attribuée à l'espèce. C'est pour cette raison qu'il est important de faire la correction au niveau des données ICF et CQ, avant de faire l'analyse de l'identification des arbres.

a) Créer un nouveau tableau, copier et coller la colonne «ue_id», «id_parcelle», «n_ruban», «noms_scientifiques» et «observations».

b) Séparer les noms des espèces et les noms des genres : insérer trois ou quatre colonnes vides, copier et coller les noms scientifiques dans la première colonne vide, sélectionner la colonne collée puis faire la conversion (Figure 11).

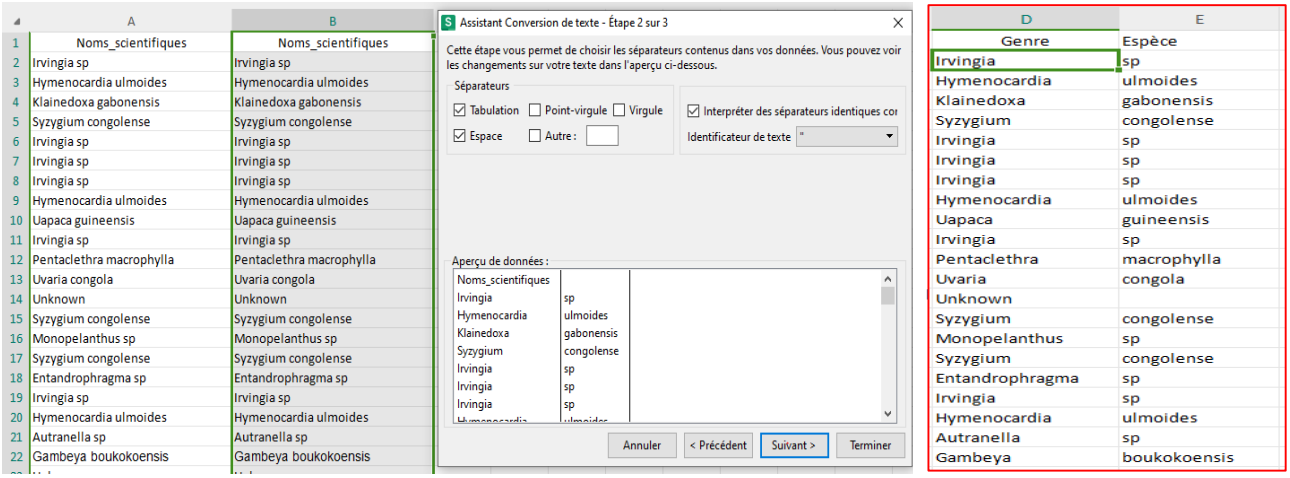


Figure 11 : Séparation des genres et des espèces

c) Supprimer les espaces anormales entre les textes et corriger le majuscule et minuscule en mettant la première lettre du genre en majuscule et le nom des espèces en minuscule (Figure 12).

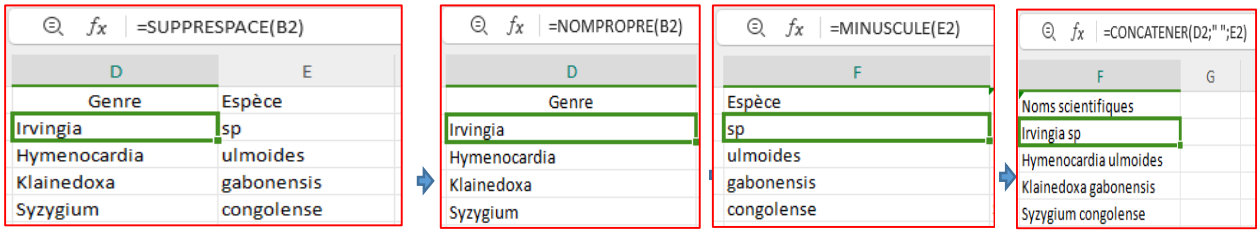


Figure 12 : Suppression des espaces anormales et correction des majuscules et minuscules

d) Supprimer l'abréviation «sp» pour ne pas générer les erreurs lors de la vérification des noms scientifiques en ligne.

e) Renommer la colonne des noms scientifiques : « Noms scientifiques unification » (Figure 13).

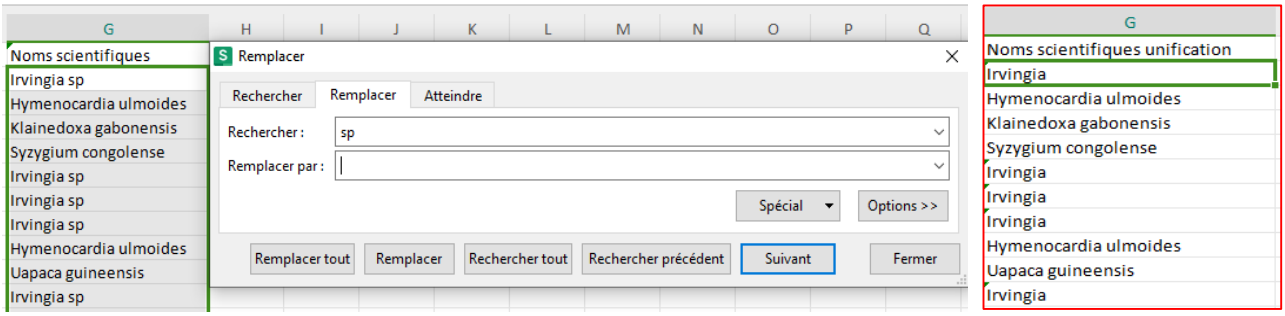


Figure 13 : Suppression de l'abréviation sp parmi les noms des espèces

f) Vérifier les fautes d'orthographe et corriger les,

- ❖ Exemple 2 : Annomidium mannii, Annoniduim ma nii, Annoniduim mannii
  Correction : Anonidium mannii

g) Pour rechercher le nom d'espèce correct, utilisez les sites ci-dessous :

- World Flora online : https://about.worldfloraonline.org/
- Plant Ressource of Tropical Africa : https://prota.prota4u.org/search.asp
- Tropicos (Données botaniques depuis 1982) : https://tropicos.org/home
- Taxonomic Name Resolution Service : https://tnrs.biendata.org/#
- Botanical Information and Ecology Network : https://biendata.org/, etc.

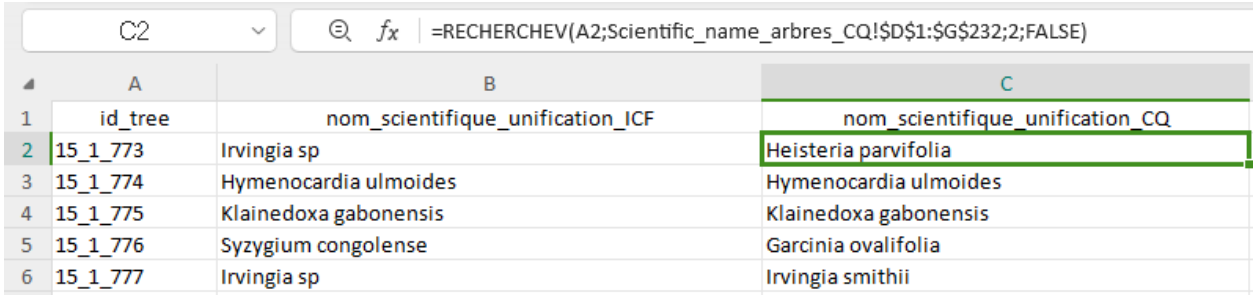
4.6.2. Analyse de l'identification des arbres

a) Créer une nouvelle feuille et nommer « noms_scientifiques_comparaison », pour la comparaison des résultats d'identification des arbres

b) Copier et coller les données du tableau de l'ICF à partir de la colonne «id_tree» à la colonne «noms_scientifiques_unification», dans la feuille «noms_scientifiques_comparaison»

c) Créer une nouvelle colonne juste après la colonne « noms_scientifiques_ unification de l'ICF et nommer «noms_scientifiques_unification CQ,

d) Utiliser la fonction RECHERCHEV pour extraire les noms scientifique unification du tableau CQ et les intégrer dans la colonne «noms_scientifiques_unification_CQ» de la feuille «noms_scientifiques_comparaison». (Figure 14).



	A	B	C
1	id_tree	nom_scientifique_unification_ICF	nom_scientifique_unification_CQ
2	15_1_773	Irvingia sp	Heisteria parvifolia
3	15_1_774	Hymenocardia ulmoides	Hymenocardia ulmoides
4	15_1_775	Klainedoxa gabonensis	Klainedoxa gabonensis
5	15_1_776	Syzygium congolense	Garcinia ovalifolia
6	15_1_777	Irvingia sp	Irvingia smithii

Figure 14 : Intégration des noms scientifiques CQ

e) Insérer deux colonnes et nommer «B1» et «B2»

f) Dans la colonne B1, faire la combinaison des fonctions SI et ET pour faire la comparaison de l'identification effectuée par les deux botanistes (ICF et CQ) : Insérer la fonction qui permet d'importer les noms de cette manière : Si la cellule des arbres identifiés par le botaniste ICF n'est pas vide mais la colonne CQ est vide, que la cellule soit rempli par NA, mais si le deux cellule contiennent des noms, s'ils sont identiques, «vraie», et s'ils ne les sont pas «Faux» (Figure 15).

Figure 15 : Comparaison des résultats d'identification

D2 | =SI(ET(B2<>"";C2="");"NA";SI(B2=C2;"Vraie";"Faux"))

	A	B	C	D
1	id_tree	nom_scientifique_unification_ICF	nom_scientifique_unification_CQ	B1
2	15_1_773	Irvingia sp	Heisteria parvifolia	Faux
3	15_1_774	Hymenocardia ulmoides	Hymenocardia ulmoides	Vraie
4	15_1_775	Klainedoxa gabonensis	Klainedoxa gabonensis	Vraie
5	15_1_776	Syzygium congolense	Garcinia ovalifolia	Faux
6	15_1_777	Irvingia sp	Irvingia smithii	Faux

g) Déterminer le coefficient Kappa de Cohen :

- Faire le tableau croisé dynamique pour calculer la proportion de l'accord (Po) et la proportion hypothétique de la probabilité (Pe);
- Appliquer la formule du coefficient Kappa de Cohen pour avoir le niveau de concordance (Figure 16)

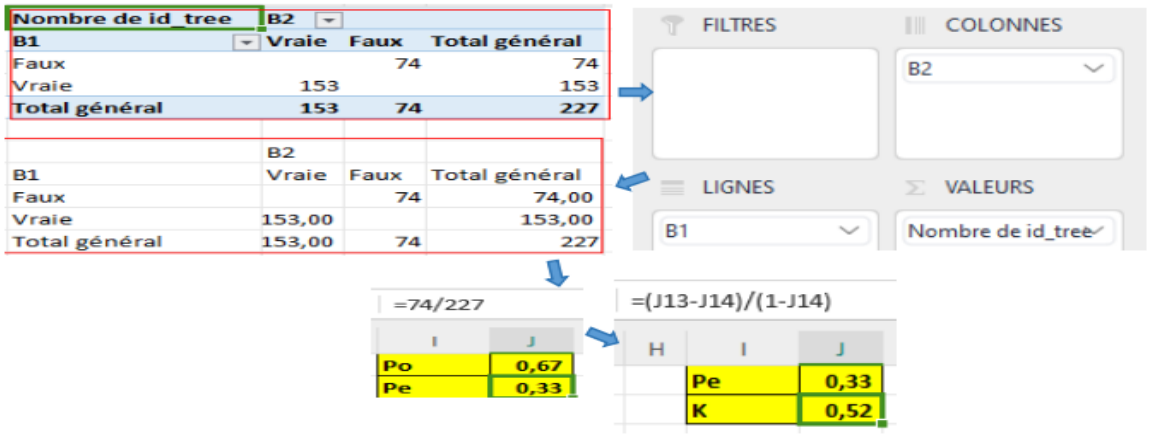


Figure 16 : Coefficient Kappa de Cohen

4.7. Analyse de la biomasse aérienne

La biomasse aérienne par ha de chaque parcelle est estimée avec les données de l'étude ICF et de l'étude CQ en vue d'analyser les erreurs et le taux d'erreur dans l'estimation de la biomasse.
Les données sur les arbres sur pied utilisées pour l'estimation de la biomasse sont le DHP et la hauteur totale d'arbre. En outre, l'estimation de la biomasse forestière en RDC fait recours aux équations allométriques. Cependant, ces équations allométriques utilisent la densité du bois , d'où la nécessité de préparer des données sur la densité du bois. Dans le cadre de ce guide, l'équation allométrique de Chave et al. 2014 est utilisée pour estimer la biomasse aérienne.

Après avoir préparé les données susmentionnées, la biomasse est estimée pour comparer les résultats de l'estimation de la biomasse avec les données de l'ICF et avec les données CQ.
Pour estimer la biomasse aérienne, les données de l'étude de terrain : « arbres_ICF » et « arbres_CQ » doivent être complétées par la densité du bois et la hauteur d'arbre estimée des arbres sur pied non relevés.

4.7.1. Préparation des données sur la densité du bois

Étant donné que l'étude ICF comme l'étude CQ ne comprennent pas les données sur la densité du bois, on utilise les données extérieures sur la densité du bois dans « Global wood density database : Base des données mondiale sur la densité du bois (Zanne et al. 2009)[7] », la densité du bois de toutes les essences du monde est listée de manière exhaustive, et donc cette liste est utilisée. Ces données sont disponibles dans le lien suivant : https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.234.

a) Télécharger les données sur la densité du bois en cliquant sur le l ien ci-dessus et cliquer au niveau de GlobalWood density database.xls (Figure 18).

Figure 17 : Site de téléchargement des données sur la densité de bois

b) Extraire les données filtrées par région Afrique à partir de la colonne «Region» du fichier téléchargé et enregistrer les données filtrées sous un autre nom (Figure 18).

	A	B	C	D	E	F
1	Numb	Family	Binomial	Wood density (g/cm^3), oven dry mass/fresh volur	Region	Reference Number
229	228	Fabaceae	Acacia xanthophloea	0.758	Africa (extratropical)	72
297	296	Apocynaceae	Acokanthera oppositifolia	0.784	Africa (extratropical)	72
339	338	Malvaceae	Adansonia digitata	0.276	Africa (tropical)	4

Figure 18 : Tableau initial des données mondiale sur la densité du bois (filtré par région)

c) Ajouter une nouvelle colonne entre la colonne « Family » et la colonne « Binomial » et donner le nom « Genus » à la première ligne de cette colonne ajoutée : Utiliser la fonction GAUCHE et la fonction TROUVER de manière à ce que le nom de genre de Binomial soit mis dans les lignes « Genus » (Figure 19).

C2 =GAUCHE(D2;TROUVE(" ";D2)-1)

	A	B	C	D	E	F	G
1	Numbe	Family	Genus	Binomial	Wood dens	Region	Reference Numbe
2	41	Fabaceae	Acacia	Acacia amythethophylla	1,007	Africa (extratropical)	72
3	110	Fabaceae	Acacia	Acacia erioloba	1,059	Africa (extratropical)	72
4	117	Fabaceae	Acacia	Acacia galpinii	0,659	Africa (extratropical)	72

Figure 19 : Ajout de la colonne contenant le genre

[7] Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G.*, Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., and Chave, J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: http://hdl.handle.net/10255/dryad.235.

d) Sur base des données sur la densité du bois extraites, créer dans une autre feuille, la liste des densités du bois moyennes par espèce, par genre et par famille, et de toutes les essences (pour les arbres non identifiés) : Étant donné que « Global wood density database » contient plusieurs densités du bois de la même espèce, le tableau croisé dynamique est utilisé pour obtenir la moyenne des densités du bois par espèce, par genre, par famille et de toutes les essences pour créer la liste des densités de bois (Figure 20).

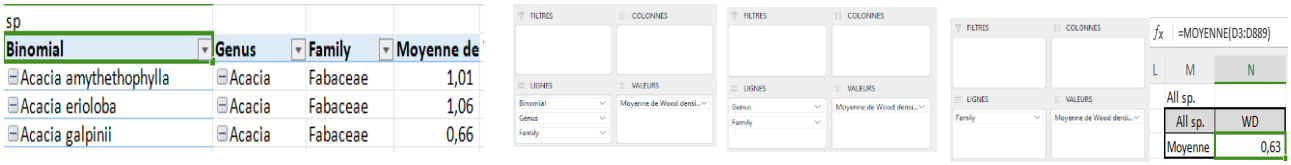


Figure 20 : Résultats de tableau croisé dynamique des densités de bois

e) Les résultats de la compilation du tableau croisé dynamique sont collés dans une autre nouvelle feuille (Figure 21) : Donner un nom à cette feuille, par exemple « WD (densité du bois) ».

sp.

Binomial	Genus	Family	WD
Acacia amythethophylla	Acacia	Fabaceae	1,01
Acacia erioloba	Acacia	Fabaceae	1,06
Acacia galpinii	Acacia	Fabaceae	0,66

Genus

Genus	Family	WD
Acacia	Fabaceae	0,83
Acokanthera	Apocynaceae	0,78
Adansonia	Malvaceae	0,28

Family

Family	WD
Achariaceae	0,59
Anacardiaceae	0,54
Anisophylleaceae	0,48

All sp.

All sp.	WD
Moyenne	0,63

Figure 21 : Moyennes de densités du bois par espèce, genre, famille et pour toutes les espèces

4.7.2. Intégration des densités moyennes de bois

a) Sauvegarder le fichier Excel où les données ont été intégrées (fichier déjà nommé « CQ_arbres_analysis » dans la section précédente) sous un autre nom ; par exemple « CQ_arbres_analysis_biomass.xlsx », etc.

b) Copier et coller la feuille de la liste des densités du bois dans le fichier « CQ_arbres_analysis_biomass.xlsx »

- ✧ Utiliser la feuille de la liste collée.

c) Ajouter quatre colonnes vides après la colonne « noms_scientifiques » de « arbres_ICF » et de « arbres_CQ » : Donner les noms : « noms_scientifiques_unification_2 », « Genus », « Family » et « WD (densité du bois) » respectivement à la première ligne des colonnes ajoutées.

d) Copier et coller les noms des essences de « noms_scientifiques » dans la colonne « noms_scientifiques_unification_2» :

- Conserver les données d'entrée originales de « noms_scientifiques » parce qu'on peut y faire recours.
- À l'avenir, si des erreurs de l'extraction se produisent lors de l'extraction des densités du bois avec la fonction RECHERCHEV, corriger le nom de l'essence d'arbre dans « noms_scientifiques_unification_2 ».

e) Pour la colonne « Genus », utiliser la fonction RECHERCHEV pour extraire les noms des genres à partir de la feuille des densités du bois : À cette étape, les résultats de RECHERCHEV peuvent être #N/A, mais les laisser tel quel pour le moment.

f) Pour la colonne « Family », utiliser la fonction RECHERCHEV pour extraire les noms des familles à partir de la feuille des densités du bois : À cette étape, les résultats de RECHERCHEV peuvent être #N/A, mais les laisser tel quel pour le moment.

g) Pour la colonne « WD », utiliser la fonction RECHERCHEV pour extraire les valeurs de la densité du bois à partir de la feuille des densités du bois. Combiner plusieurs fois les fonctions SIERREUR et RECHERCHEV et utiliser les règles ci-dessous pour extraire les valeurs des densités du bois :

- Si l'espèce est connue et qu'il existe des données sur la densité du bois dans la liste au niveau de l'espèce, la densité du bois de l'espèce en question est utilisée.
- Si l'espèce est connue mais qu'il n'y a pas de nom d'espèce correspondant dans la liste des densités du bois et que seul le nom du genre est connu, la moyenne des densités du bois du genre est utilisée.
- Si le genre est connu mais qu'il n'y a pas de nom de genre correspondant dans la liste des densités du bois et que seul le nom de la famille est connu, la moyenne des densités du bois de la famille est utilisée.
- Si l'espèce, le genre et la famille sont inconnus, ou s'il n'y a pas de famille correspondante dans la base des données sur la densité du bois, la moyenne des densités du bois de toutes les essences d'Afrique (tropicale) et d'Afrique (extratropicale) est utilisée.

h) Si le processus ci-dessus est effectué pour tous les arbres sur pied (copier et coller l'équation), la colonne « WD » contient la densité du bois au niveau de l'espèce, du genre, de la famille ou de la moyenne de toutes les essences. Pour les arbres sur pied pour lesquels les colonnes « Genus » et « Family » sont #N/A, si « noms_scientifiques_unification_2 » est corrigé au nom d'espèce correct, la densité du bois au niveau de l'espèce peut être extraite :

- Même s'il n'y a pas d'espèce dans la liste des densités du bois après correction du nom de l'espèce, si le genre ou la famille se trouvent dans la liste, la densité du bois au niveau du genre ou de la famille est mise.
- S'il n'y a pas de genre ou de famille correspondant dans la liste des densités du bois, on ne peut qu'appliquer la moyenne des densités du bois de toutes les essences.
- Les bois morts, les souches, les inconnus, le palmier, les bambous et toutes autres essences non ligneuses ne sont pas inclus dans l'estimation de la biomasse aérienne et peuvent être exclus des analyses dans le cadre de ce guide (Figure 22).

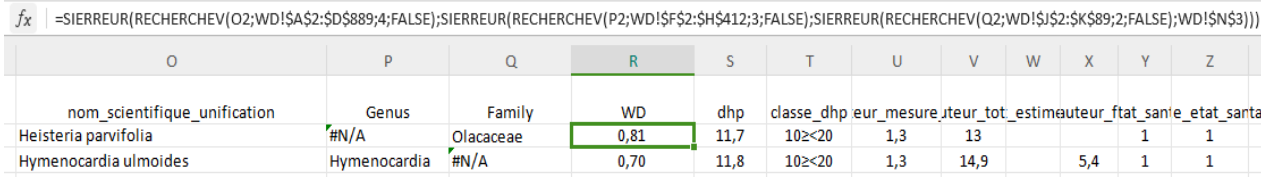


Figure 22 : Intégration des densités de bois dans les feuilles «arbre_ICF» et «arbre_CQ»

4.7.3. Prédiction de la hauteur des arbres

Nombreuses équations allométriques utilisées pour l'estimation de la biomasse, utilisent la hauteur d'arbres comme l'un des paramètres.
La mesure de la hauteur d'arbres s'effectue sur quelques arbres sélectionnés par classe de diamètre tenant compte de son état lors de l'étude ICF. L'équipe de l'étude CQ est censée mesurer la hauteur de même arbres mesurés par l'équipe ICF.
À cet effet, pour les arbres sur pied dont la hauteur n'a pas été mesurée, il est nécessaire d'estimer la hauteur d'arbres en appliquant les équations existantes pour l'estimation de la hauteur.

a) Ajouter une nouvelle colonne aux feuilles « arbres_ICF » et « arbres_CQ » dans le fichier « CQ_arbres_analysis_biomass.xlsx » et attribuer un nom à cette colonne, par exemple « hauteur_totale_estimée» : Choix de l'équation pour l'estimation de la hauteur d'arbre.

L'estimation de la hauteur d'arbre se fait généralement à l'aide d'équations qui utilisent la relation relative entre le DHP et la hauteur d'arbre. Si des équations pour l'estimation de la hauteur d'arbre applicables à la zone sont disponibles, ces équations peuvent être utilisées pour estimer la hauteur d'arbre pour les arbres sur pied dont la hauteur n'a pas été mesurée dans les études de terrain.
Dans les forêts tropicales d'Afrique centrale, on a développé des équations pour l'estimation de la hauteur d'arbre, telles que les modèles locaux de Banin et al. (2012), de Feldpausch et al. (2012), de Kearsley et al. (2017) ou de la version à effets mixtes non linéaires (NLME), etc.

1. Banin et al. (2012)	: $H = 45.1 - 42.8 \cdot e^{-0.025 \cdot D}$	
2. Feldpausch et al. (2012)	: $H = 50.453 \cdot (1 - e^{-0.0471 \cdot D^{0.8120}})$	
3. Kearsley et al. (2017)	Localmodel	$H = 39.964 - 36.852 \cdot e^{-0.023 \cdot D}$
	NLME	$H = 39.092 - 35.224 \cdot e^{-0.023 \cdot D}$

Et l'équation de régression de Näslund est aussi proposée, dont la formule est : $H = \frac{D^2}{(a+b*D)^2}$

Il est nécessaire de déterminer laquelle des équations présentées dans ces documents doit être utilisée.

- Exemple 3 : Les figures ci-dessous montrent un nuage de points des DHP et des hauteurs totales d'arbre mesurés lors des études ICF et CQ et les courbes de tendance que présente chaque équation susmentionnée dans la prédiction des hauteurs totales d'arbres. À partir de l'alignement, les équations de Banin et al. (2012) et de Feldpausch et al. (2017) ont tendance à surestimer les hauteurs totales d'arbre, par contre l'équation de Näslund les sous-estime. Le modèle local de Kearsley et al. (2017) et la version de NLME présentent presque le même alignement par rapport aux hauteurs totales mesurées. Étant donné que le modèle local de Kearsley et al. (2017) et sa version de NLME ont les valeurs de critère d'information d'Akaike (AIC) de 731.23 et de 729.74 respectivement, la version de NLME de Kearsley et al. est utilisée pour l'estimation de la hauteur d'arbre (Figure 23 et 24).

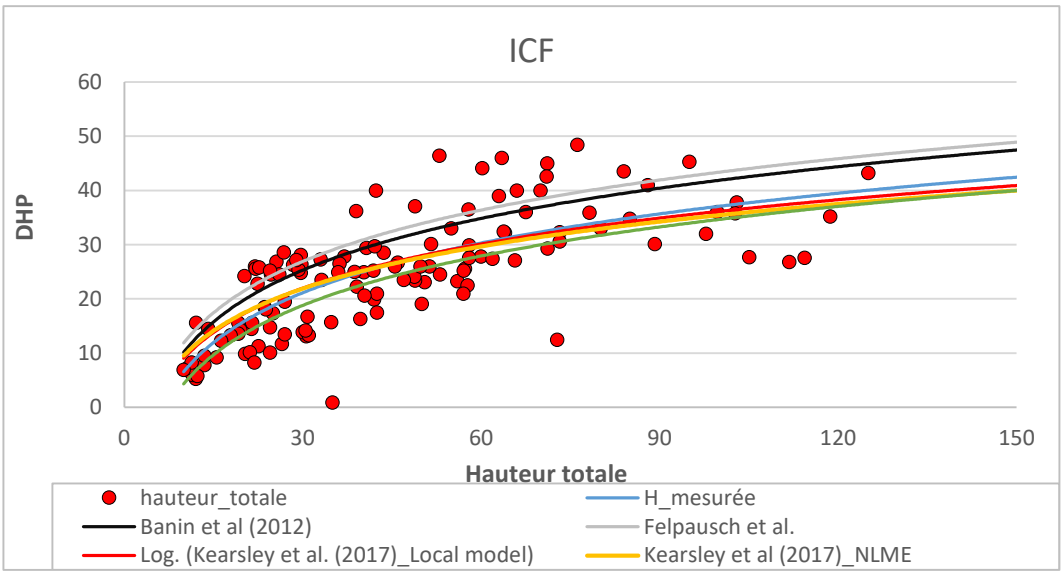


Figure 23 : Relation D_Ht pour les arbres mesurés dans l'étude ICF

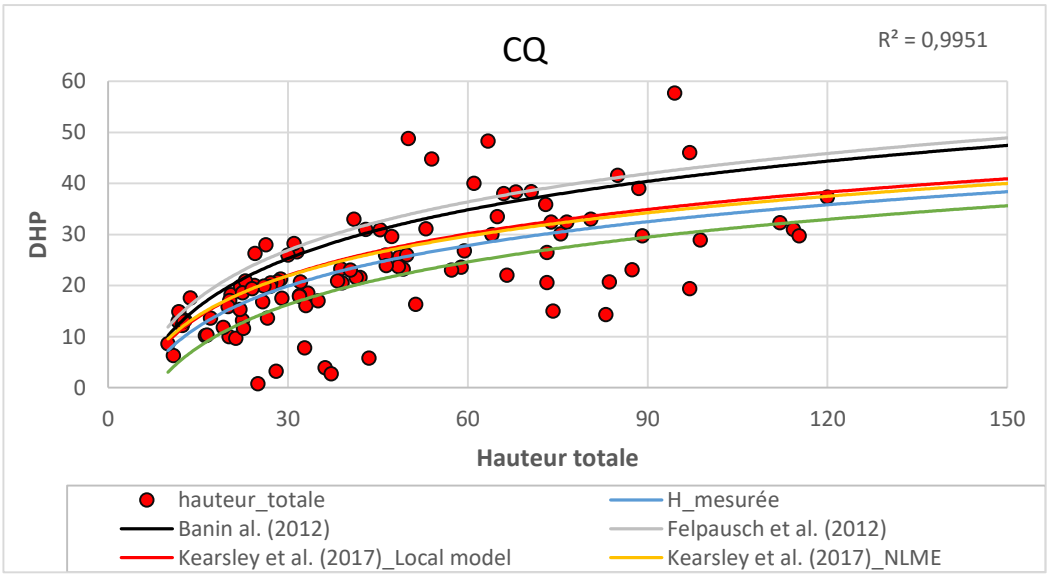
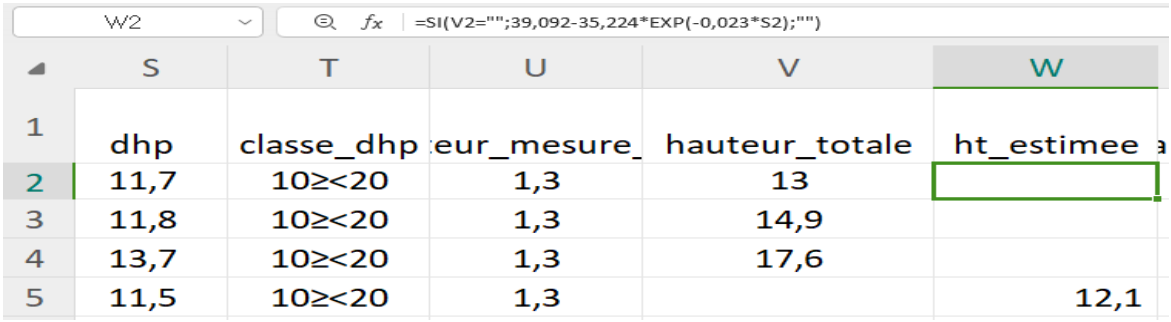


Figure 24 : Relation D-Ht pour les arbres mesurés dans les études CQ

b) Saisir l'équation retenue pour l'estimation de la hauteur totale d'arbre dans la cellule de la colonne « hauteur_totale_ estimée » :

- Dans notre cas, c'est le modèle de NLME de Kearsley et al. (2017) comme expliqué ci-dessus ;
- Lorsque l'équation est copiée et collée et que le même processus est appliqué à tous les arbres sur pied, la hauteur de chaque arbre sur pied est estimée, comme le montre la Figure 26 ;
- Par ailleurs, dans l'estimation de la biomasse qui suit, s'il existe des valeurs réelles de mesure de la hauteur d'arbre, elles sont utilisées, et s'il n'existe pas de valeurs réelles, la hauteur d'arbre estimée est utilisée.



W2 | =SI(V2="";39,092-35,224*EXP(-0,023*S2);"")

	S	T	U	V	W
1	dhp	classe_dhp	eur_mesure_	hauteur_totale	ht_estimee
2	11,7	10≥<20	1,3	13	
3	11,8	10≥<20	1,3	14,9	
4	13,7	10≥<20	1,3	17,6	
5	11,5	10≥<20	1,3		12,1

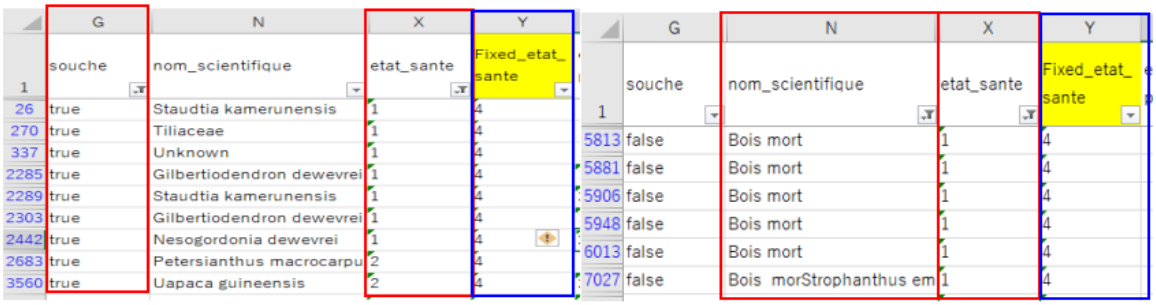
Figure 25 : Résultats de l'estimation de la hauteur d'arbre

4.7.4. Correction « état de santé » des arbres

Lors de l'estimation de la biomasse aérienne, les arbres morts, les arbres cassés, les souches, palmier à huile, bambous, etc doivent être exclus. Les informations sont vérifiées en se référant aux colonnes en rapport avec l'état de santé, observations et autres colonnes en rapport avec les informations précitées. Mais ces informations ne sont pas toujours cohérentes.
Afin de s'assurer que la biomasse aérienne n'est pas surestimée, les incohérences des données telles que celles présentées ci-dessus doivent être éliminées autant que possible.

a) Ajouter une nouvelle colonne dans les feuilles de « arbres_ICF » et de « arbres_CQ » du fichier « CQ_arbres_analysis_biomass.xlsx » après la colonne « état-santé », et attribuer nom à cette colonne, par exemple « Fixe_ état_santé ». La nouvelle colonne ajoutée est insérée après la colonne « état_santé » (Figure 26).

b) Corriger les incohérences :
   - ❖ Exemple 4: Si, « état_santé» indique « 1 : Bonne santé » ou « 2 : Légèrement affecté » bien que « Souche » soit « true », ou « état_santé » montre « 1 : Bonne santé » ou « 2 : Légèrement affecté » bien que « nom_scientifique » soit « bois mort », saisir manuellement « 4 : Mort ou mourant debout » dans la cellule « Fixe_ état_santé ».



	G	N	X	Y
1	souche	nom_scientifique	etat_sante	Fixed_etat_sante
26	true	Staudtia kamerunensis	1	4
270	true	Tiliaceae	1	4
337	true	Unknown	1	4
2285	true	Gilbertiodendron dewevrei	1	4
2289	true	Staudtia kamerunensis	1	4
2303	true	Gilbertiodendron dewevrei	1	4
2442	true	Nesogordonia dewevrei	1	4
2683	true	Petersianthus macrocarpu	2	4
3560	true	Uapaca guineensis	2	4

	G	N	X	Y
1	souche	nom_scientifique	etat_sante	Fixed_etat_sante
5813	false	Bois mort	1	4
5881	false	Bois mort	1	4
5906	false	Bois mort	1	4
5948	false	Bois mort	1	4
6013	false	Bois mort	1	4
7027	false	Bois morStrophanthus em	1	4

Figure 26 : Exemple de la correction dans "état-santé"

Une fois les données arrangées comme décrit ci-dessus, procéder à l'estimation de la biomasse aérienne.

4.7.5. Estimation de la biomasse aérienne

Pour estimer la biomasse aérienne, l'équation de Chave et al. (2014) est utilisée, dont la formule est (Equation 9) :

$$AGB = 0.0673 * (\rho * D^2 * H)^{0.976} \quad \text{(Eq 9)}$$

AGB est est la biomasse aérienne estimée, ρ est la densité du bois, D est le DHP et H est la hauteur totale d'arbre.

a) Ajouter 3 nouvelles colonnes dans les feuilles de « arbres_ICF » et de « arbres_CQ » du fichier « CQ_arbres_analysis_biomass.xlsx » après la dernière colonne du tableau.

b) Donner respectivement à ces feuilles les noms de « Biomasse_arbre (en tonne) », « Poids » et « Biomasse_arbre_ha (t/ha) ».

c) Pour estimer la biomasse d'un arbre individuel par arbre sur pied, entrer l'équation de Chave et al. (2014) dans la cellule « Biomasse_arbres (en tonne) » et diviser la valeur par 1000 pour la conversion en tonne (Figure 27) :

- Combiner avec la fonction SIERREUR de manière à utiliser les mesures réelles de la hauteur totale d'arbre si elles sont disponibles, ou appliquer la hauteur totale d'arbre estimée si elles ne sont pas disponibles.

❖ Exemple 5 : En outre, combiner les fonctions SI et OU, de manière à ce que, si « Fixe_ état _santé » est « 3 : Sévèrement affecté », « 4 : Mort ou mourant débout » ou « 5 : Mort ou mourant couché », cet arbre sur pied soit exclu dans le calcul de la biomasse.

- Copier et coller l'équation pour appliquer le même calcul à tous les arbres sur pied.

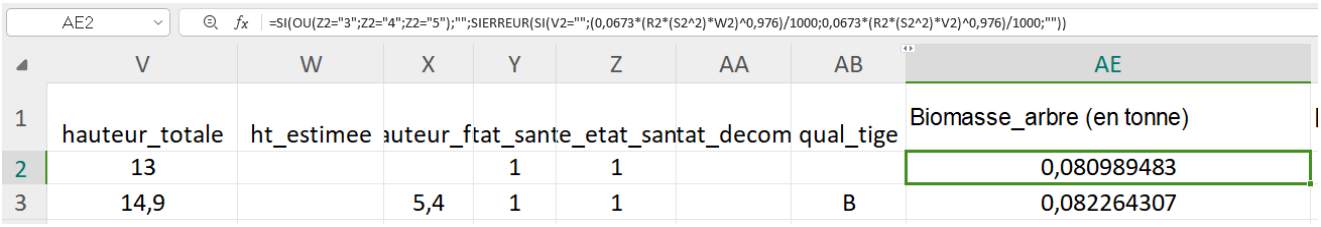


Figure 27 : Calcul de la biomasse

- Conversion de la biomasse tonne à l'hectare

d) Pour convertir la biomasse obtenue en biomasse t/ha, on divise 10 000 par la superficie occupée par la classe (c'est le poids de la classe)

❖ Exemple 6 : Arbres sur pied ayant un DHP de 20 cm ou plus.
Tous ces arbres sont relevés dans la parcelle de 75 m x 75 m = 1,78 est donné dans la cellule « Poids ». Les arbres ayant un DHP entre 10 cm et 20 cm sont relevés dans deux PCM de 25 m x 25 m = 625 m2 = 8 est mis dans la cellule « Poids ». Les arbres sur pied ayant un DHP inférieur à 10 cm sont relevés dans deux PPC de 12,5 m w 12,5 m = 156,25 m^2 = 32 est placé dans la cellule « Poids ».

Copier et coller l'équation pour attribuer un poids à tous les arbres sur pied (Figure 28).

AD2 =ARRONDI(SI(T2="";"";SI(T2="20≥";1,77777777778;SI(T2="10≥<20";8;32)));2)

	T	U	V	W	X	Y	Z	AC	AD
1	classe_dhp	eur_mesure_	hauteur_totale	ht_estimee	auteur_f	tat_sante	e_etat_san	Biomasse_arbre (en tonne)	Poids
2	10≥<20	1,3	13			1	1	0,080989483	8
3	10≥<20	1,3	14,9		5,4	1	1	0,082264307	8
4	10≥<20	1,3	17,6		11	1	1	0,169734016	8

Figure 28 : Calcul du poids de la classe de dhp

e) Multiplier la biomasse d'un arbre individuel par arbre sur pied par le poids pour calculer la biomasse par ha (Figure 29) : Copier et coller l'équation pour appliquer le même calcul à tous les arbres sur pied.

AE2 =AC2*AD2

	U	V	W	X	Y	Z	AC	AD	AE
1	ure_	hauteur_totale	ht_estimee	auteur_f	tat_sante	e_etat_san	Biomasse_arbre (en tonne)	Poids	Biomasse_arbre_ha (t/ha)
2		13			1	1	0,080989483	8	0,647915867
3		14,9		5,4	1	1	0,082264307	8	0,658114454
4		17,6		11	1	1	0,169734016	8	1,357872127

Figure 29 : Conversion en biomasse par ha

4.7.6. Compilation de la biomasse aérienne

La biomasse aérienne d'un arbre individuel étant convertie en biomasse par ha est compilée par parcelle.

a) Ajouter trois nouvelles feuilles au fichier « CQ_arbres_analysis_biomass.xlsx » et donner à ces feuilles les noms « ICF_Biomass », « CQ_Biomass » et « Comparaison » respectivement.

b) Utiliser le tableau croisé dynamique pour compiler séparément le volume total de la biomasse pour chaque parcelle de l'étude ICF et de l'étude CQ dans « ICF_Biomass » et « CQ_Biomass » :

- Pour la gamme des données du tableau croisé dynamique, sélectionner l'ensemble des données de « arbres_ICF » et de « arbres_CQ ».
- Dans le tableau croisé dynamique, sélecItionner « id_ue » et « id_parcelle » pour l'étiquette de ligne et « Fixe_etat_sante » pour l'étiquette de colonne ainsi que « Biomasse_arbre (t/ha) » pour la valeur : « Fixe_etat_sante » ne montre que 1, 2 et blanc. *Parce que « Fixe_etat_sante » des arbres sains peut être vide, les blancs ne sont pas exclus du calcul de la biomasse.
- Le paramètre du champ de valeur est changé en total.

c) Copier les résultats de la compilation et coller les valeurs dans la même feuille.

d) Insérer deux colonnes entre les valeurs collées de « id_parcelle » et de « Biomass », et donner à ces colonnes insérées les noms « ICF/CQ » et « UE-Parcell » respectivement.

e) Dans la cellule de la colonne « ICF/CQ », entrer « ICF» pour les données ICF et » CQ » pour les données CQ.

f) Dans la cellule de la colonne « UE-Parcell », saisir l'identifiant combiné de l'UE et de l'identifiant de la parcelle en utilisant la fonction CONCATENER (Figure 30).

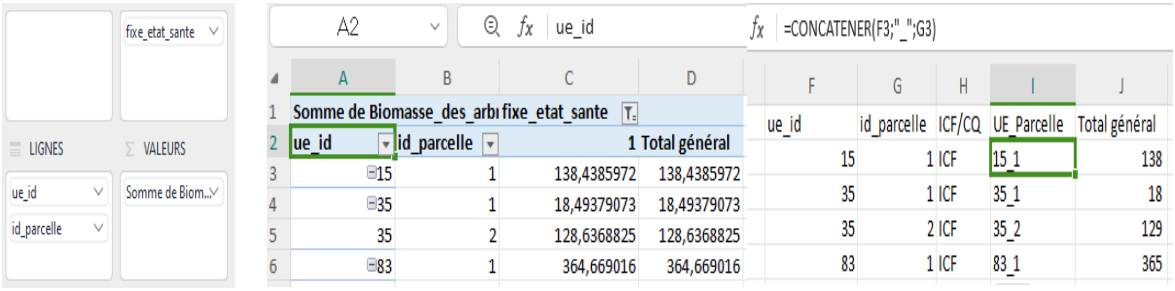


Figure 30 : Résultats de la compilation de la biomasse aérienne de l'étude ICF

g) Coller les résultats de la compilation des biomasses ICF et CQ dans la feuille « Comparaison » : Faire correspondre les colonnes des résultats de la compilation de l'étude ICF et de l'étude CQ (« ue_id, parcelle_id », « ICF/CQ », « UE-Parcelle », « Biomasse (t/ha) ») et les coller.

h) Créer un tableau de comparaison avec un tableau croisé dynamique afin que les résultats collés de la compilation des biomasses aériennes des études ICF et CQ puissent être comparés par parcelle (Figure 31).

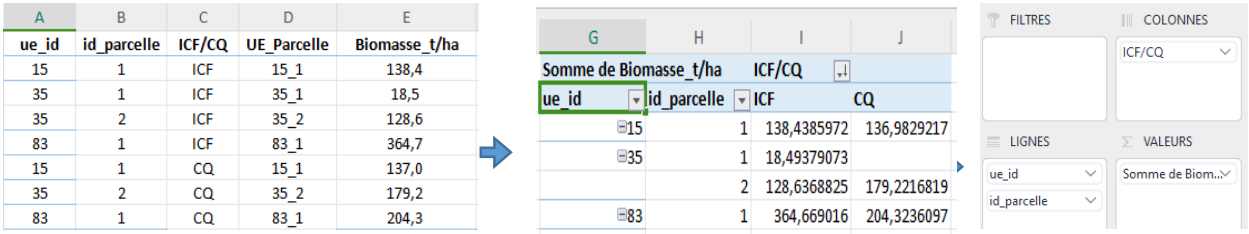


Figure 31 : Résultats collée de la compilation et tableau de comparaison

i) Pour les parcelles où les études ICF et CQ ont été réalisées, obtenir les valeurs de « Erreur de biomasse », de « Erreur au carré » et de « taux d'erreur » afin de calculer la statistique (Figure 32).

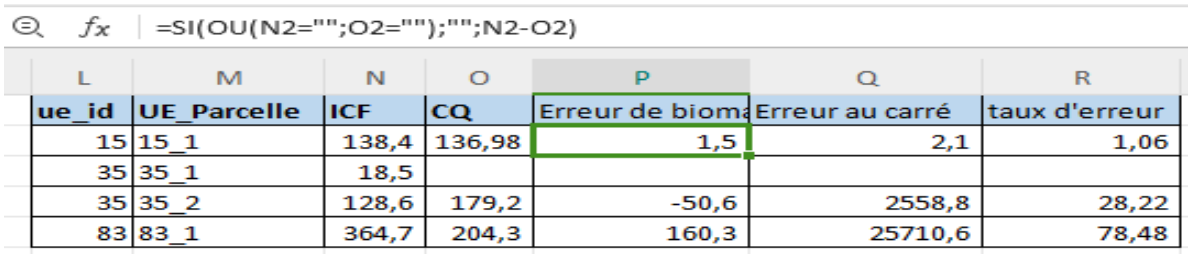


Figure 32 : Calcul de "erreur de biomasse", "erreur au carré" et "taux d'erreur"

j) Créer un nuage de points afin de comparer les valeurs mesurées dans les études ICF et CQ.

4.8. Décision de la conformité ou de la non-conformité pour toutes les analyses réalisées

La prise de décision sur la conformité ou la non-conformité pour tous les paramètres évalués dépend des résultats des différentes analyses comparatives effectuées au niveau de : Le nombre total d'arbres

inventoriés, l'identification des espèces, le DHP, la hauteur totale, la biomasse aérienne ainsi que les outils utilisés par les équipes des études ICF et CQ.
Le traitement étant fait par UE et pour l'ensemble des placettes vérifiées, la présentation des résultats statistique calculé sera faite de la manière suivante :

- Nombre de mesures ou parcelle ;
- Erreur moyenne ;
- Taux d'erreur moyen ;
- S.D :
- S.E.
- Intervalle de confiance à 95%
- Somme erreur au carré
- RMSE

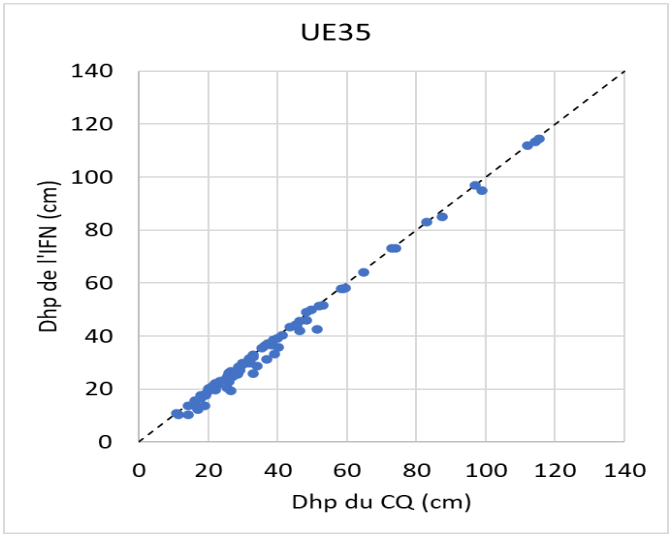
Les résultats issus des analyses comparatives permettront de constater la conformité ou la non-conformité.
Les conclusions et les recommandations/correctifs à apporter, se baseront sur l'analyse des résultats obtenus sur l'ensemble des UE et placettes vérifiées par l'équipe CQ.

V. PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS D'ANALYSE CQ PAR CAS

5.1. Cas avec moins d'erreur

❖ Exemple 7 : Diamètre à hauteur de poitrine

La Figure 33 montre les nuages de points qui comparent les valeurs mesurées du DHP dans les UE de l'ICF où l'étude CQ a été réalisée avec le DHP relevé dans l'étude CQ.



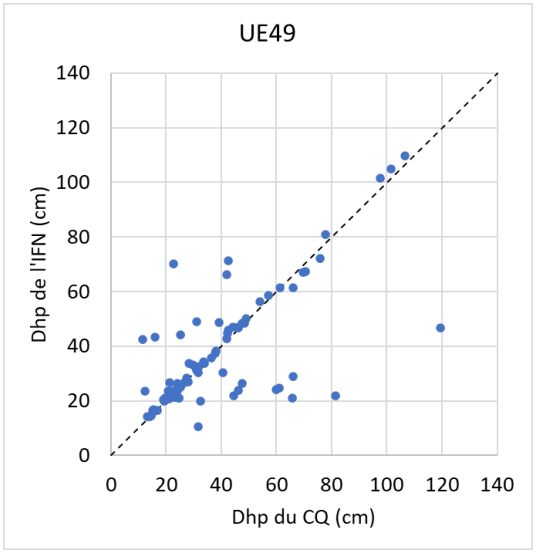
Nombre de mesures	98
Erreur Moyenne	-1,5
Taux d'erreur moyen	5,4
S.D.	6,7
S.E.	0,7
Intervalle de confiance à 95%	1,5
Somme erreur au carré	555,9
RMSE	2,4

- Les erreurs de mesure sont généralement faibles.
- La RMSE est de 2,4, ce qui est considéré comme ayant une petite erreur de mesure.

Figure 33 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec moins d'erreur de mesure de dhp)

5.2. Cas avec beaucoup d'erreurs

❖ Exemple 8 : Diamètre à hauteur de poitrine

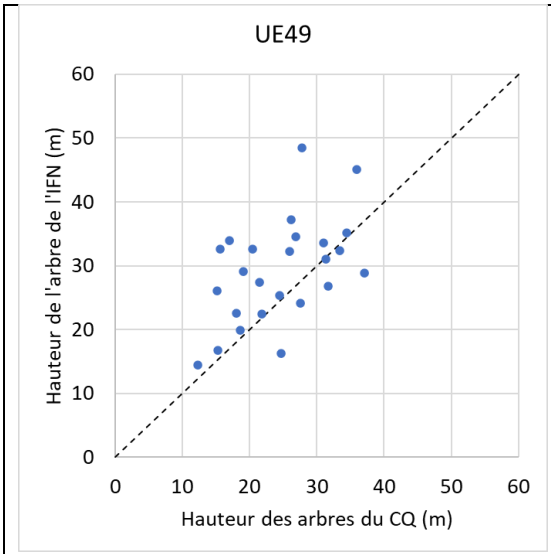


Nombre de mesures	94
Erreur Moyenne	-1,5
Taux d'erreur moyen	21,1
S.D.	42,8
S.E.	4,4
Intervalle de confiance à 95%	10,0
Somme erreur au carré	23 539,2
RMSE	15,8

- Les erreurs de mesure sont importantes, tant pour la surestimation que pour la sous-estimation.
- Les études ICF et CQ peuvent contenir des erreurs.
- La RMSE est de 15,8, ce qui indique qu'il y a de nombreuses mesures avec des erreurs importantes.

Figure 34 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec bcp d'erreurs de mesure de dhp)

❖ Exemple 3 : Hauteur totale d'arbre

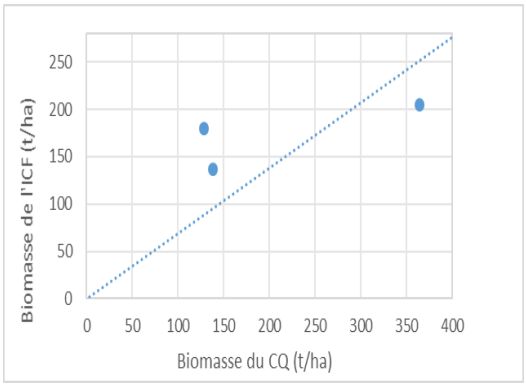


Nombre de mesures	25
Erreur Moyenne	4,6
Taux d'erreur moyen	31,2
S.D.	30,5
S.E.	6,1
Intervalle de confiance à 95%	13,8
Somme erreur au carré	1 923,1
RMSE	8,8

- L'erreur de mesure est importante dans l'ensemble.
- Il est possible d'avoir été sur-mesuré du côté IFN.
- Les valeurs mesurées étant variées, la RMSE est de 8,8.

Figure 35 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec bcp d'erreurs de mesure de Ht)

❖ Exemple 9 : Estimation de la biomasse aérienne (AGB)



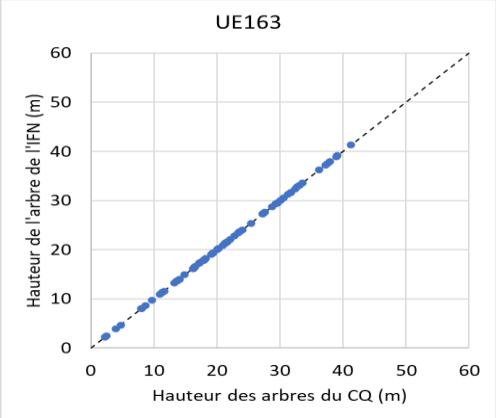
Nombre de parcelles	3
Erreur Moyenne	37
Taux d'erreur moyen	36
S.D.	39
S.E.	23
Intervalle de confiance à 95%	87
Somme résiduelle des carrés	28272
RMSE	97

- L'erreur de mesure est importante dans l'ensemble.
- Les valeurs mesurées étant variées, la RMSE est de 97.

Figure 36 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec bcp d'erreurs d'estimation d'AGB)

5.3. Cas avec zéro erreur

❖ Exemple 10 : Hauteur totale d'arbre



Nombre de mesures	81
Erreur Moyenne	0,0
Taux d'erreur moyen	0,0
S.D.	0,0
S.E.	0,0
Intervalle de confiance à 95%	0,0
Somme erreur au carré	0,0
RMSE	0,0

- À première vue, il semble qu'il n'y ait aucune erreur, mais toutes les valeurs entrées dans les données de l'étude CQ sont les valeurs mesurées de l'IFN.
- Une erreur nulle dans la mesure des arbres sur pied n'est pas possible.
- L'évaluation est impossible.

Figure 37 : Interprétation des résultats ICF et CQ (Cas avec zéro d'erreur de mesure de Ht)

VI. REFERENCES

6.1. BIBLIOGRAPHIE

1. DIAF, (2019) : Manuel de terrain de l'Inventaire Forestier National de la RDC ;
2. Bernard BRANGER (2009) : Accord entre observateurs, indice Kappa de Cohen
3. Newton Paciornik et al. (2006) Chapitre 1, Introduction aux lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires des gaz à effet de serre, volume 1 ;
4. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (Janvier 2018) : Procédure de Contrôle-Qualité de la collecte des données de l'Inventaire Forestier National de la République Démocratique du Congo, 12P ;
5. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (Rome, 2017) : Directives volontaires sur le suivi national des forêts, P 54- 67 ;
6. U.S. Agency for International Development : Manuel de Mesure, Notification et Vérification (MNV) de la REDD+ », version 2.0, Programme Carbone Forestier, Marchés et Communautés (FCMC), Décembre 2014, p.30.

6.2. WEBOGRAPHIE

1. Bonobos World, Glossaire : https://www.bonobosworld.org/fr/glossaire/coefficient-de-concordance-kappa-de-cohen
2. Creaform, Creafrom/Ametek, Démystifier la différence entre le contrôle qualité et l'assurance qualité, 10/06/2021 : https://www.creaform3d.com/blog/fr/demystifier-la-difference-entre-le-controle-qualite-et-lassurance-qualite/
3. Zanne et al. , DRAYD, 2009, Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum : https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.234.

ANNEXE

FICHE DES RESULTATS D'ANALYSE DES ERREURS PAR UE

ID_UE : .....

<table>
<tr><td colspan="2">Graphiques</td><td>Analyses statistiques</td><td>Identification des arbres</td><td>Nombre d'arbres</td><td>DHP</td><td>Hauteur totale</td><td>Biomasse aérienne</td></tr>
<tr><td>Nombre d'arbres</td><td>DHP</td><td>Coefficient Kappa de Cohen (K)</td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="9"></td><td rowspan="9"></td><td>Nombre de mesures</td><td rowspan="9"></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Erreur Moyenne</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Taux d'erreur moyen</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>S.D.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>S.E.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Intervalle de confiance à 95%</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Somme erreur au carré</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>RMSE</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Hauteur totale</td><td>Biomasse aérienne</td><td colspan="6">Commentaire/Observations</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

EQUIPE REDACTRICE

Les noms des experts sous mentionnés ont participé à la rédaction de document

N°	Nom Post-Nom et Prénom	Fonction	Structure
1	KISITA LUFUMA Willy	Chef de Division Inventaire Forestier	DIAF
2	Samuel LIFENDI WALO	Ancien Chef de Division Inventaire Forestier	DIAF
3	LANDU BIKEMBO Guy	Chef de Bureau Prospection, analyse et traitement des données	DIAF
4	ATIBASSAY BANAPYANENY Papy	Chef de Bureau études pédo-botanique et faunique	DIAF
5	KUSU MUETAME Richard	Ancien Chef Bureau Prospection, analyse et traitement des données	DIAF
6	EBUTA ELABU Daniel	Expert	DIAF
7	MUNKERALINGI KITOKO Théophane	Expert	DIAF
8	OKOKA SHAKO Berthold	Expert	DIAF
9	MAKOBELE LUNTAS	Expert	DIAF
10	ASANTE FADHILI Fat-Ray	Expert	DIAF
11	LUFUMBA DUMU Godé	Expert	DIAF
12	NGAKA LUSABU René	Expert	DIAF
13	AFINO BASILA LIFETA Anicet	Expert	DIAF
14	KITITI MULUTA Noël	Expert	DIAF
15	KUMESO BANA Abel	Expert	DIAF
16	KABUYA KANUAPUKI Israël	Expert	DIAF
17	RATSINA LOGBOMA Robert	Expert	DIAF
18	NGALULA NDAYA Françoise	Expert	DIAF
19	MUSHABAA AMISI Benoit	Expert	DIAF