



MOTI

L'inventaire forestier simplifié par le smartphone

Rapport final

Projet n° 2012.24

Mars 2014

Haute école spécialisée bernoise

Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL

Division Foresterie

Impressum

Mandants

Abteilung Wald, Kanton Zürich
Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Graubünden
Landwirtschaft und Wald, Kanton Luzern
Service de la forêt et de la faune, Etat de Fribourg
Service des forêts, de la faune et de la nature, Canton de Vaud
Service des forêts et du paysage, Canton du Valais
Sezione forestale, Repubblica e Cantone Ticino

Mandataires

Haute école spécialisée bernoise
Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL
Technique et informatique HESB-TI

Équipe BFH et auteurs

Prof. Dr. Christian Rosset (chef de projet, HAFL)
Roland Brand (HAFL)
Iris Caillard (HAFL)
Prof. Dr. Ulrich Fiedler (HESB-TI)
Clotilde Gollut (HAFL)
Aaron Schmocker (HAFL)
Dominique Weber (HAFL)
Eric Wuillemin (HAFL)

Experts externes

Prof. Dr. J.-P. Schütz (Prof. em. sylviculture EPFZ), Dr. A. Lanz (WSL)

Avec le soutien du Fonds pour les recherches forestières et l'utilisation du bois, Office fédéral de l'environnement OFEV.

Mars 2014

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Contexte.....	1
1.2	Objectifs	2
1.3	Situation actuelle	3
1.4	Structure du rapport.....	4
2	Méthodologie	5
2.1	Approche.....	5
2.2	Articulation du développement de MOTI et méthodes appliquées	6
2.3	Organisation et déroulement du projet	9
3	Concepts métiers.....	11
3.1	Modes d'utilisation	11
3.2	Mesures	13
3.3	Traitement des résultats	23
3.4	Mise en pratique des inventaires par échantillonnage.....	26
3.5	Calibrage	28
4	Solution IT	34
4.1	Vue d'ensemble de l'application	34
4.2	Mesures uniques.....	35
4.3	Mesures combinées	39
4.4	Inventaires par échantillonnage	43
4.5	Menus Aide et Configuration	45
4.6	Autres fonctions (synchronisation, calibrage, etc.).....	46
5	Tests	51
5.1	Tests de précision des mesures	51
5.2	Test comparatif MOTI vs. relascope de Bitterlich	59
5.3	Tests d'utilisation	62
5.4	Recommandations	63
6	Vulgarisation	65
6.1	Releases	65
6.2	Site internet.....	65
6.3	Publications.....	65
6.4	Manifestations	66
6.5	Formation.....	66

7 Discussion.....	67
7.1 Objectifs du projet et résultats obtenus	67
7.2 Méthodologie, déroulement et organisation du projet.....	70
7.3 Perspectives d'avenir.....	71
Références.....	72
ANNEXES.....	73

Liste des figures

Fig. 1 : Cycle de développement de l'application MOTI.....	6
Fig. 2 : Exemple de croquis reproduisant l'interface utilisateur selon la technique du maquettage papier.....	7
Fig. 3 : Principe des mesures combinées sur une placette.....	11
Fig. 4 : L'angle constant et le rayon critique.	13
Fig. 5 : Principe de la mesure de la surface terrière à l'ha avec MOTI.	14
Fig. 6 : Détermination de la largeur a de l'encoche à l'écran.....	15
Fig. 7 : Principe de la mesure du nombre de tiges à l'ha avec MOTI.....	16
Fig. 8 : Calcul de l'angle α qui caractérise l'intervalle entre les marques fixées sur le jalon à une distance $d = r$	17
Fig. 9 : Détermination de la hauteur a de l'encoche à l'écran.....	17
Fig. 10 : Influence de l'inclinaison du smartphone sur l'angle qui caractérise l'intervalle formé par les marques de référence sur le jalon.....	18
Fig. 11 : Principe trigonométrique selon lequel les angles δ_1 et δ_2 sont déterminés.	19
Fig. 12 : Détermination de la hauteur $d_1 + d_2$ de l'encoche à l'écran.....	20
Fig. 13 : Mesure de la hauteur h d'un arbre selon le principe trigonométrique, sans mesure de distance.....	21
Fig. 14 : Mesure de la hauteur h avec MOTI.	21
Fig. 15 : Concept pour la disposition de placettes temporaires dans un peuplement.....	27
Fig. 16 : Méthode <i>Walk Through</i> pour la correction des effets de lisière.	28
Fig. 17 : Les angles de champ	29
Fig. 18 : Procédure de détermination du champ de vision de l'appareil photo du smartphone....	30
Fig. 19 : Installation qui permet de déterminer le champ de vision de l'appareil photo du smartphone.....	30
Fig. 20 : Contrôle de la précision de la détermination du champ de vision de l'appareil photo... ...	31
Fig. 21 : Axe de visée de l'appareil photo.	32
Fig. 22 : Test de la mesure de l'inclinaison du smartphone.	32
Fig. 23 : Contrôle de la précision de la détermination de l'écart de visée de l'appareil photo.	33
Fig. 24 : Écran de démarrage de MOTI.....	34
Fig. 25 : Interface de la mesure de la surface terrière à l'ha, sans distinction des essences.	35
Fig. 26 : Interface de la mesure du nombre de tiges à l'ha.....	36
Fig. 27 : Interface de la mesure de la hauteur de l'arbre.	37
Fig. 28 : Interface de l'estimation du matériel sur pied à l'ha.	38
Fig. 29 : Interface de la mesure de la surface terrière à l'ha, avec distinction des essences.....	38
Fig. 30 : Interface de gestion des placettes.....	39
Fig. 31 : Onglet « Collecte des données » d'une placette.....	40
Fig. 32 : Onglet « Résultats » d'une placette.....	41

Fig. 33 : Exemple de simulation de la répartition des tiges par classe de DHP sur une placette ...	42
Fig. 34 : Exemple de simulation de l'évolution de la surface terrière sur une placette dans les 30 prochaines années.....	42
Fig. 35 : Exemple de simulation de l'évolution du matériel sur pied sur une placette dans les 30 prochaines années.....	42
Fig. 36 : Interface de gestion des inventaires de peuplement.	43
Fig. 37 : Onglet « Description » d'un inventaire de peuplement.....	43
Fig. 38: Proposition de design d'inventaire générée automatiquement.....	44
Fig. 39 : Assistant de navigation pour la localisation de placettes permanentes.	45
Fig. 40 : Interface de synchronisation des données.....	47
Fig. 41 : Assistant calibrage.	50
Fig. 42 : Exemple de capture d'écran faite lors des tests de la mesure de la surface terrière à l'ha.	51
Fig. 43 : Exemple de capture d'écran faite lors des tests de la mesure du nombre de tiges l'ha..	53
Fig. 44 : Résultats [m] des mesures de hauteurs effectuées avec MOTI par rapport aux hauteurs réelles [m] des objets mesurées à l'aide d'un Vertex : 9.0 m (n=60), 15.5 m (n=60), 32.3 m (n=90), 41.8 m (n=60).....	56
Fig. 45 : Boxplots des hauteurs [m] mesurées avec MOTI selon la hauteur réelle [m] de l'objet mesuré et le modèle de smartphone utilisé : LG Nexus 4 et Samsung GALAXY Note II.....	57
Fig. 46 : Boxplots de l'erreur relative [%] des hauteurs mesurées avec MOTI selon la hauteur réelle [m] de l'objet mesurée à l'aide du Vertex et la hauteur [m] de la marque de référence fixée sur le jalon.....	57
Fig. 47 : Boxplots de l'erreur relative [%] des hauteurs mesurées avec MOTI selon la hauteur réelle [m] de l'objet mesurée avec le Vertex et la distance horizontale [m] entre le smartphone et l'objet mesuré.	58
Fig. 48 : Boxplots de l'erreur relative [%] du résultat de la mesure de hauteur en fonction du nombre de mesure effectuées et considérées dans la moyenne.	59
Fig. 49 : Cas de chevauchement (1-3) et d'arbres cachés (4) rencontrés lors des tests.....	61

Liste des tables

Tab. 1 : Comparaison sommaire des fonctionnalités des applications mobiles relatives aux inventaires forestiers disponibles sur le marché.....	3
Tab. 2 : Déroulement du projet articulé selon les rencontres avec les partenaires et les cycles de développement	10
Tab. 3 Détermination des angles δ_1 et δ_2 en fonction du rayon r de la placette, de la hauteur h de l'intervalle formé par les marques sur le jalon ainsi que de l'inclinaison γ du smartphone	19
Tab. 4 : Coefficients de forme $V7G$	22
Tab. 5 : Recommandations quant au design de l'inventaire d'un peuplement.....	27
Tab. 6 : Contenu du menu Calibration.	45
Tab. 7 : Nombre de mesures effectuées par configuration de test	52
Tab. 8 : Résultats des tests de la mesure de la surface terrière	52
Tab. 9 : Nombre de mesures effectuées par configuration de test.	54
Tab. 10 : Résultats des tests de la mesure du nombre de tiges	54
Tab. 11 : Nombre de mesures de hauteur effectuées par configuration de test	55
Tab. 12 : Statistiques (minimum, quartiles, maximum et moyenne) des hauteurs [m] mesurées avec MOTI selon la hauteur réelle [m] de l'objet mesuré.	56
Tab. 13 : Statistiques (minimum, quartiles, maximum et moyenne) de l'erreur relative des résultats obtenus avec MOTI selon le nombre de mesures effectuées (le résultat étant la moyenne des mesures effectuées).	58
Tab. 14 : Résultats des tests comparatifs MOTI vs. relascope de Bitterlich pour la mesure de la surface terrière à l'ha.	59
Tab. 15 : Publication des différentes versions de l'application MOTI et de son précurseur MotiWZP sur Google Play.....	65

Résumé

MOTI est une application pour smartphone qui met à profit les progrès technologiques considérables de ces dernières années dans le but d'effectuer des relevés dendrométriques de façon fiable, simple et efficiente et de disposer directement en forêt d'informations de gestion pertinentes. MOTI permet ainsi aux forestiers de quantifier rapidement ce qu'ils voient en forêt et de disposer d'une base décisionnelle objective et immédiate sur le terrain.

MOTI permet de relever en quelques cliques les caractéristiques dendrométriques clés que sont la surface terrière à l'ha (G), le nombre de tige à l'ha (N) et la hauteur des arbres (h), ainsi que d'estimer le matériel sur pied à l'ha (V). MOTI offre aussi la possibilité d'effectuer des placettes d'échantillonnage avec sauvegarde automatique des données tout en les localisant au moyen de coordonnées GPS et de leur niveau de précision. Ces placettes peuvent être gérées de façon individuelle, au sein d'un peuplement ou au niveau d'un inventaire local avec maillage systématique (p. ex. au niveau d'un massif forestier ou d'une unité de gestion). Dans les deux derniers cas, le calcul statistique des valeurs moyennes et des marges d'erreur se fait automatiquement. Afin d'assurer un bon niveau de précision, MOTI intègre une procédure de calibrage semi-automatique d'une quinzaine de minutes à effectuer après l'installation de l'application sur son smartphone. Les données récoltées avec MOTI peuvent être synchronisées sur un serveur.

MOTI tient sans autre la comparaison avec les instruments de mesures conventionnels, ne serait-ce que grâce aux avantages qu'offrent les smartphones, tels que la luminosité des écrans, la possibilité de zoomer dans le rendu visuel, la prise en compte automatique de la pente grâce aux capteurs intégrés ou encore la possibilité de simplifier et rationaliser la prise de mesure et leur mise en valeur grâce à une interface graphique intuitive. Selon les tests effectués dans le cadre de cette étude, MOTI fournit des résultats de mesure de G aussi bons si ce n'est meilleurs que le relascope de Bitterlich. En ce qui concerne la mesure de h , MOTI n'atteint pas le niveau de précision du Vertex sans pour autant en être très éloigné avec une différence de moins de 6% dans 75% des cas. Par contre, MOTI ne nécessite pas d'investissement en matériel conséquent, si ce n'est de disposer d'un smartphone et d'un jalon.

L'innovation dans MOTI ne se limite pas aux inventaires forestiers, mais englobe la croissance forestière en intégrant SiWaWa, un modèle de simulation simple et efficace qui reprend les données mesurées avec MOTI et simule en une fraction de seconde la dynamique des surfaces forestières concernées tout en tenant compte de leurs spécificités. SiWaWa livre des informations sur leur accroissement, l'évolution de leur matériel sur pied ou encore sur la mortalité, ainsi que des informations détaillées sur la distribution des tiges par classes de diamètres. A noter que cette fonctionnalité est pour l'instant limitée aux peuplements réguliers et purs de hêtre, d'épicéa, de frêne et d'érable. L'intégration de SiWaWa est un exemple emblématique du potentiel que représentent les nouvelles technologies pour assurer le transfert de l'innovation de la recherche à la pratique.

MOTI est les résultats d'un projet développé par la HAFL en collaboration avec le département technique et informatique de la Haute Ecole Spécialisée Bernoise (HESB). Il est financé par le Fonds pour les recherches forestières et l'utilisation du bois et les sept cantons que sont Fribourg, Grisons, Lucerne, Tessin, Valais, Vaud et Zurich. Les développements se sont concentrés principalement sur une période relativement courte de 12 mois et se sont fait selon une approche résolument pragmatique et participative qui a fait intervenir régulièrement et activement les représentants des cantons partenaires.

MOTI fait déjà l'objet d'un succès de loin non négligeable si l'on considère le nombre de téléchargements déjà effectués au moment du bouclage de ce rapport technique (>800), de son utilisation déjà effective dans la formation forestières (p.ex. HAFL et ETHZ) ainsi que des présentations déjà faites aussi bien dans la communauté scientifique que dans la pratique. Si ce démarrage est prometteur, il n'en demeure pas moins que les défis restent nombreux, en particulier au niveau de la mise en place d'une communauté d'utilisateurs et de développeurs à même d'assurer l'existence et les développements futurs de MOTI, tant du point de vue financier, du regroupement des compétences nécessaires en informatique que de l'adéquation de l'application aux besoins de la pratique.

Mots-clés : inventaire forestier, croissance forestière, technologies de l'information et de la communication (TIC), surface terrière, nombre de tiges, hauteur des arbres, inventaires par placettes d'échantillonnage, inventaire au niveau du peuplement, GPS, synchronisation serveur, développement participatif

1 Introduction

1.1 Contexte

À l'heure actuelle, on estime que plus de 80 % des Suisses possèdent un smartphone (Microsoft 2013). En forêt aussi, ce petit outil s'est propagé à une vitesse considérable : il n'est plus rare de voir un forestier gérer ses contacts et rendez-vous professionnels à l'aide de son smartphone ou immortaliser ses observations sur le terrain grâce à l'appareil photo intégré.

En 2011, un travail de bachelor de la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL s'est penché sur le potentiel qu'offrent les smartphones dans le domaine des inventaires forestiers, ô combien importants lorsqu'il s'agit de quantifier certains aspects de la ressource forestière tels que matériel sur pied ou surface terrière. Les caractéristiques suivantes ont été relevées comme étant particulièrement intéressantes (Brand 2011, complété) :

- avec l'appareil photo intégré, les smartphones disposent du dispositif optique indispensable à la mesure de la surface terrière, par exemple selon Bitterlich ;
- grâce aux capteurs intégrés, l'inclinaison de l'appareil est mesurée en temps réel. Il est donc possible de déterminer des angles et, par conséquent, la hauteur d'un arbre par exemple ;
- l'informatique permet de combiner plusieurs fonctionnalités (p. ex. récolte, traitement et stockage des données) en un seul et même outil et de mettre en valeur les données de manière instantanée, sur le terrain (p. ex. à l'aide d'un modèle de croissance) ;
- le récepteur GPS permet de localiser la position de l'appareil et ainsi de géoréférencer immédiatement les informations récoltées ;
- la connexion internet sans fil offre la possibilité d'échanger données et informations sans passer par le bureau ;
- l'écran tactile rend l'utilisation de l'interface très intuitive et la prise en main de l'outil aisée ;
- le format compact de l'appareil et le fait qu'il serve de téléphone mobile font qu'on l'a presque toujours sur soi.

Associées judicieusement, ces caractéristiques peuvent contribuer à rationaliser et simplifier les procédés d'inventaires, les rendre plus efficaces et par conséquent moins onéreux. Se servir d'un smartphone comme instrument de mesure, de saisie et de stockage des données limite les frais d'investissement et offre l'opportunité de procéder spontanément à des relevés en forêt, étant donné que le matériel requis est toujours à portée de main. Finalement, utiliser les nouvelles technologies peut conférer une nouvelle dynamique aux inventaires forestiers et les rendre plus attractifs, en particulier aux yeux des nouvelles générations de forestiers.

Par rapport aux méthodes « traditionnelles », effectuer des relevés dendrométriques avec un smartphone peut s'avérer avantageux à différents points de vue. Le smartphone est susceptible de remplacer plusieurs instruments de mesure en partie onéreux, comme par exemple le relascope de Bitterlich pour la mesure de la surface terrière ou le Vertex pour la mesure de la hauteur. Étant donné que le smartphone sert aussi à la saisie, au traitement et à la sauvegarde des données, il n'est pas nécessaire d'investir dans un ordinateur de terrain, ni de saisir les données sur papier en forêt, puis numériquement au bureau. Grâce à l'interface qui guide l'utilisateur, les procédures de travail sont claires, rapides et efficaces.

Le smartphone offre de nouvelles perspectives aux forestiers. Une application qui leur permettrait d'effectuer des mesures, voire des inventaires, simplement, rapidement et d'obtenir des résultats fiables serait d'un grand intérêt. Ils seraient ainsi en mesure de quantifier, puis de décrire de manière tout à fait objective l'environnement forestier qui les entoure, n'importe où et n'importe quand. Ces informations sont très utiles à la prise de décision, lors d'un martelage par exemple. On appréhende nettement mieux la situation si on connaît la surface terrière actuelle du peuplement, son matériel sur pied, la répartition des tiges par classe de diamètre, etc.

Le potentiel pour une application smartphone qui permette d'effectuer et de mettre en valeur des relevés dendrométriques est considérable. Le défi est de développer une application simple, facile d'utilisation et attractive, qui fournit des informations pertinentes, fiables et transparentes, sans quoi le produit risque de ne pas être accepté et adopté par les praticiens.

1.2 Objectifs

L'objectif principal de ce projet est de développer une application pour smartphone à l'intention des forestiers suisses en premier lieu, qui leur permette de relever des variables dendrométriques ponctuellement ou dans le cadre d'inventaires par échantillonnage et ce de manière simple, fiable et peu onéreuse. Le nom choisi pour cette application est MOTI (pour *MOBILE Timber cruise*), en référence au tout premier prototype développé par Brand (2011) dans le cadre de son travail de bachelor.

L'application MOTI doit mettre au moins les fonctionnalités suivantes à la disposition de ses utilisateurs :

- mesure rapide et précise de la surface terrière à l'ha (G), du nombre de tiges à l'ha (N) et de la hauteur de l'arbre (h) ;
- mesures uniques, combinées sur une placette ou dans le cadre d'un inventaire par échantillonnage ;
- implémentation de procédures standards de sorte à ce que les relevés soient réalisés selon des schémas connus et consistants ;
- mise en valeur immédiate des résultats à l'aide de modèles existants, tels que le modèle de croissance SiWaWa par exemple, de sorte à générer des informations utiles au praticien (matériel sur pied, répartition des tiges, etc.) directement en forêt ;
- indication transparente de la marge d'erreur des estimations obtenues ;
- recommandation quant au nombre et à la taille des placettes à prévoir pour l'inventaire d'un peuplement ;
- aide à la navigation entre les points d'échantillonnage ;
- sauvegarde, gestion, export et import des données ;
- interface utilisateur multilingue (au minimum français et allemand).

Les questions suivantes servent de fil rouge au projet et garantissent le développement d'une solution adaptée au public cible, à ses besoins et aux conditions d'utilisation :

- Précision : quelle est la précision des mesures effectuées ? Est-il possible de l'augmenter ?
- Efficience : combien de temps requiert la réalisation des relevés ? Le matériel nécessaire est-il facilement disponible ? Est-il possible d'optimiser les procédés, p. ex. en améliorant l'interface utilisateur ?
- Praticabilité : la prise en main de l'outil est-elle aisée ? L'utilisation est-elle logique et les procédés simples à mettre en œuvre ? L'outil fonctionne-t-il sans accrocs en forêt ? Quels sont les facteurs critiques (p. ex. batterie, luminosité) à considérer ?
- Flexibilité : l'application est-elle conçue de sorte que de nouvelles fonctionnalités puissent être intégrées facilement ? L'utilisateur a-t-il la possibilité d'adapter la configuration en fonction des conditions rencontrées (p. ex. taille des placettes) ?

1.3 Situation actuelle

Le potentiel indéniable des smartphones pour les relevés dendrométriques n'a pas échappé à la communauté forestière internationale. Diverses applications consacrées aux relevés et aux inventaires forestiers ont fait leur apparition sur la toile ces dernières années et de nouvelles applications apparaissent régulièrement. Les applications permettant de mesurer la hauteur des arbres ou la surface terrière sont relativement nombreuses. La Tab. 1 propose une comparaison sommaire des principales applications actuellement disponibles sur le marché. Les applications sont décrites plus en détails dans l'annexe 1. La majorité des applications a été développée pour le système d'exploitation Android. À l'exception de Trestima, les applications se focalisent soit sur la mesure de variables dendrométriques telles que la surface terrière ou la hauteur d'un arbre par exemple, soit sur la gestion d'inventaires forestiers. On notera que seul un petit nombre de services « accessoires », tels que la navigation, sont mis à la disposition des utilisateurs.

Tab. 1 : Comparaison sommaire des fonctionnalités des applications mobiles relatives aux inventaires forestiers disponibles sur le marché. A : Android, W : Windows.

Application	Système d'exploitation	Mesures			Inventaires			Services					
		Surface terrière	Nombre de tiges	Hauteur de l'arbre	Matériel sur pied	Placettes uniques	Inv. par échantillonnage	Analyse statistique	Simulation de croissance	Reconnaissance d'images	Serveur	Navigation	Calibrage
Dendromètre	A			+									
iHypsometer	iOS	+	+	+		+							
Deskis	A	+	+	+							+	+	
C7	A			+		+	+	+					
Plot Hund	A					+	+	+		+			
Trestima	W	+	+	+		+	+	+	+	+			+

La Tab. 1 fait ressortir que, pour l'instant, à l'exception de Trestima, aucune application ne combine prise de mesures et inventaires par échantillonnage et seule une application offre la possibilité de calibrer son smartphone pour la prise de mesure. Trestima est une application qui vient d'apparaître sur le marché (Kimmo 2013). Elle travaille uniquement avec la prise de photos qui sont envoyées à un serveur pour être analysées. Une connexion internet en forêt est donc nécessaire pour disposer des résultats de l'analyse dans le terrain. L'utilisation du service est payante. Cette application ne semble pas intégrer de modèle de croissance.

1.4 Structure du rapport

Le présent rapport est articulé de la manière suivante : le chapitre 2 expose l'approche méthodologique adoptée, ainsi que le déroulement et l'organisation du projet. Le chapitre 3 est quant à lui dédié aux concepts métiers à la base de l'application (méthodes de mesure, techniques d'inventaires, modèles utilisés pour la mise en valeur des données, etc.). Le chapitre 4 présente le résultat final du projet, soit l'application pour smartphone MOTI. Le chapitre 5 revient sur les divers tests effectués lors du développement et leurs résultats. Le chapitre 6 présente les travaux de vulgarisation qui ont été effectués durant le projet. Une discussion (chap. 7) conclut le rapport technique en jetant un regard critique sur les résultats et la conduite de ce projet et esquisse les perspectives d'avenir pour MOTI.

2 Méthodologie

2.1 Approche

L'approche adoptée pour le développement de MOTI se veut résolument pragmatique. Cette approche place l'utilité réelle de la solution informatique au cœur des préoccupations, en se basant sur la théorie de la diffusion de l'innovation. Elle fait des partenaires du projet des acteurs essentiels au développement de la solution informatique. Elle intègre les notions fondamentales de l'ingénierie des systèmes afin de gérer de façon efficace et efficiente la complexité du problème posé et celle de la solution à développer.

La théorie de la diffusion de l'innovation (cf. Rogers 2003) permet de considérer la solution en développement du point de vue de l'utilisateur et de son intérêt ou non à l'employer de façon productive dans son environnement de travail. Les cinq critères suivants ressortent de cette théorie. Ils mettent en évidence les aspects à prendre en compte, susceptibles d'assurer le succès de la diffusion et de l'utilisation de solutions innovantes. Il s'agit :

- de la valeur ajoutée de la nouvelle solution par rapport à la situation actuelle (*relative advantage*),
- du degré de complexité de la nouvelle solution et du niveau de difficulté perçu (*complexity*),
- du niveau de compatibilité de la nouvelle solution avec l'environnement de travail de l'utilisateur (*compatibility*),
- de la possibilité de tester au préalable la nouvelle solution avant acquisition (*trialability*) et
- de la possibilité de consulter les opinions/avis des utilisateurs de la solution (*observability*).

Schönsleben (2012) met en évidence la nécessité d'intégrer dès le début d'un projet les futurs utilisateurs de la solution informatique, afin d'éviter les déconvenues et les développements inutiles. Les utilisateurs doivent pouvoir rapidement se rendre compte concrètement de ce que sera la solution informatique. Cela leur permet d'exprimer leur satisfaction mais aussi leurs doutes, de clarifier leurs attentes et de formuler des exigences réalistes. Ils doivent aussi pouvoir participer activement aux développements en comprenant ce qui se fait. Par conséquent, l'utilisation de méthodes de modélisation compréhensibles aussi bien par les informaticiens que par les utilisateurs potentiels est essentielle.

L'ingénierie des systèmes est une méthodologie très utile qui permet de gérer étape par étape la complexité du système à développer et d'aboutir à une solution informatique fonctionnelle et bien équilibrée. Les principes suivants de l'ingénierie des systèmes sont repris dans ce projet :

- penser en termes de systèmes (principalement définir leur délimitation et leurs interfaces avec d'autres systèmes, déterminer leurs éléments principaux et les relations entre ces éléments),
- procéder de l'ensemble aux détails (garder la vue d'ensemble, se concentrer sur l'essentiel, ne pas se perdre inutilement dans les détails),
- travailler sur plusieurs variantes (ne pas se satisfaire d'une solution, mais se remettre continuellement en question afin d'essayer d'élaborer la solution la plus satisfaisante possible),
- procéder selon le cycle de résolution de problèmes (analyse d'un problème, formulation d'objectifs, recherche de solutions et choix argumenté d'une de ces solutions).

2.2 Articulation du développement de MOTI et méthodes appliquées

Le développement de MOTI s'articule selon plusieurs cycles successifs qui permettent à chaque fois d'affiner l'application et d'augmenter le nombre de ses fonctionnalités, tout en profitant de l'expérience accumulée lors des cycles précédents. Cette manière de procéder permet d'appréhender étape par étape la complexité de la solution à développer. La Fig. 1 visualise l'ensemble d'un cycle de développement de MOTI.

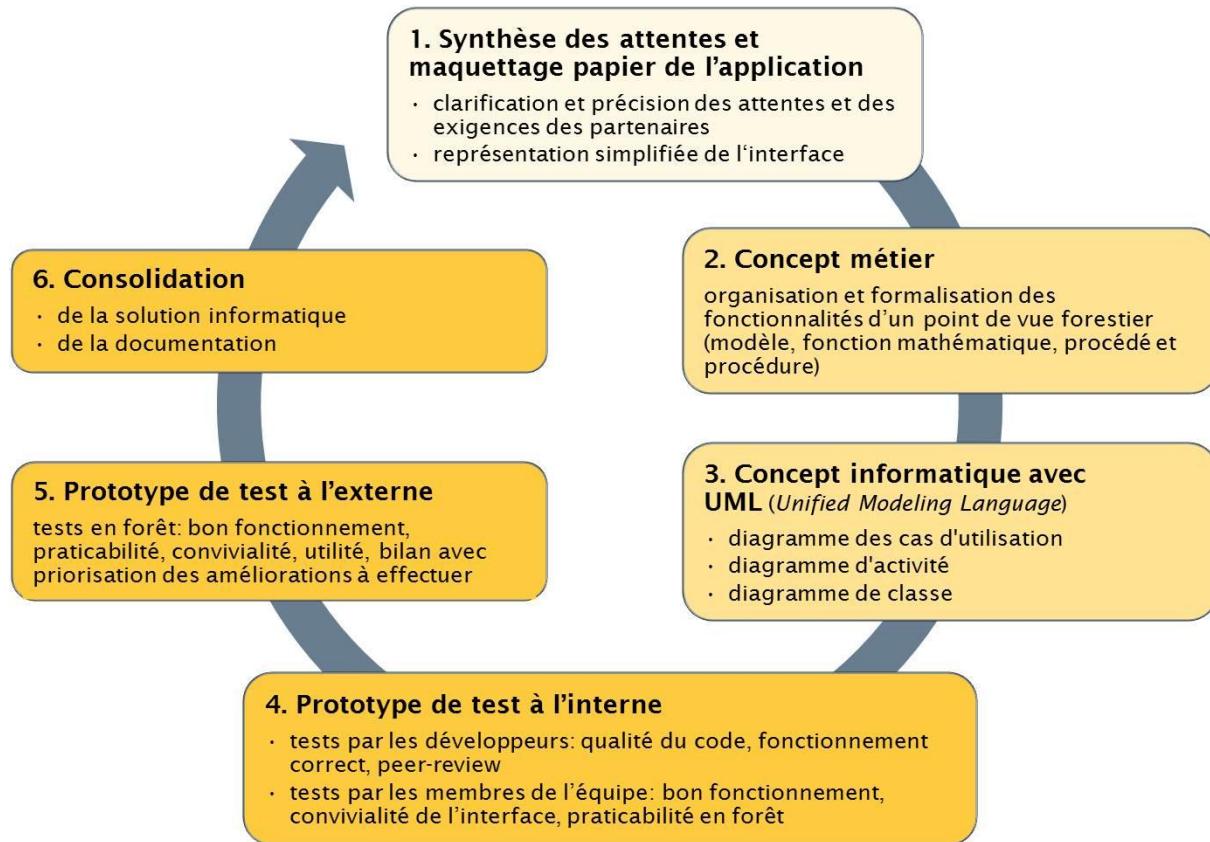


Fig. 1 : Cycle de développement de l'application MOTI.

La première étape consiste à prendre en compte les attentes des partenaires et à développer une version papier de l'interface utilisateur regroupant toutes les fonctionnalités désirées. Pour ce faire, la technique de maquettage papier (*paper prototyping*) est utilisée (Greenberg et al. 2011). Le principe de cette technique est relativement simple : dessiner sur papier l'interface utilisateur sous forme de croquis de telle manière que les utilisateurs potentiels puissent déjà se faire une idée concrète de la future application et donner leur avis. Ils doivent pouvoir interagir avec les croquis et réaliser des tâches particulières comme s'ils avaient la solution informatique entre les mains. Les croquis peuvent être facilement adaptés et complétés pendant l'interaction avec les futurs utilisateurs sur la base de leurs avis et de leurs commentaires. La Fig. 2 donne un exemple de croquis élaborés dans le cadre du projet.

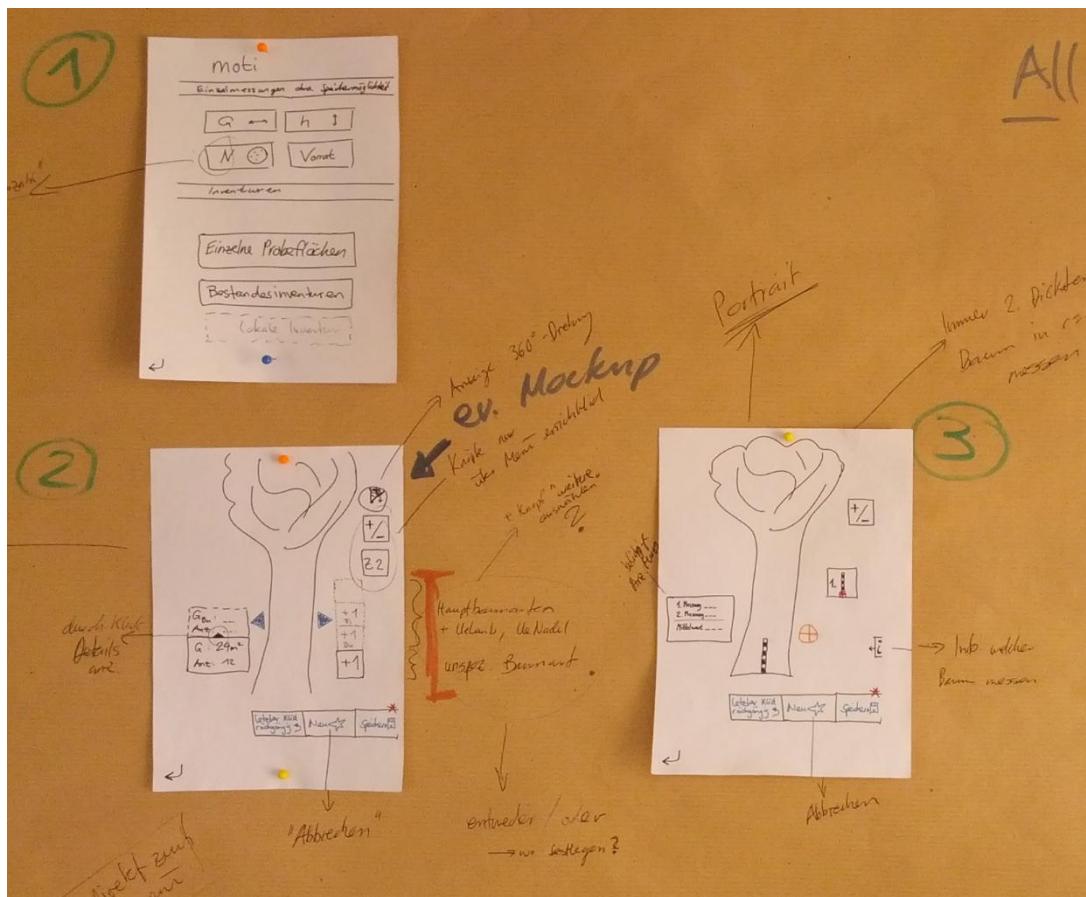


Fig. 2 : Exemple de croquis reproduisant l'interface utilisateur selon la technique du maquettage papier.
L'écran de démarrage de l'application est visible en (1), l'interface de la mesure de G en (2) et celle pour la mesure de N en (3).

Un des grands avantages de cette technique de modélisation est de se focaliser dès le début sur le résultat final du développement de la solution informatique, à savoir l'interface de l'application à laquelle les utilisateurs vont être directement confrontés. De plus, cette technique invite les développeurs à simplifier autant que possible l'interface. L'interaction avec les utilisateurs est d'autant plus facilitée que le contenu des croquis est limité à l'essentiel et que le nombre de croquis est faible. Cela permet de garder la vue d'ensemble, de retrouver facilement les fonctionnalités désirées, de comprendre de façon intuitive comment les utiliser et de ne pas se perdre dans l'application. Dans cette perspective, le développement d'une application pour smartphone est particulièrement exigeant compte tenu de la petite taille des écrans et du mode d'interaction, qui se fait principalement à l'aide des doigts sur l'écran tactile et non au moyen d'une souris et/ou d'un clavier physique.

La seconde étape reprend les fonctionnalités de la première étape. Elle sert à formaliser ces fonctionnalités de façon suffisamment claire et détaillée pour être codifiées plus tard sous forme de programmes informatiques. Cette formalisation se fait typiquement sous la forme de fonctions mathématiques et de procédures à suivre, le tout étant regroupé et organisé en un système logique et cohérent, qui forme le concept métier de MOTI. Par exemple, la mesure de la surface terrière implique de définir les fonctions mathématiques se basant sur les caractéristiques de l'optique de l'appareil photo intégré dans les smartphones pour pouvoir reproduire à l'écran un relascope avec différents facteurs de comptage. Il s'agit aussi de déterminer l'ordre dans lequel ces fonctions doivent être appliquées. Compte tenu des objectifs du projet, le concept métier doit prendre en compte les éléments suivants :

- définir les fonctions mathématiques et formaliser les processus, afin de pouvoir effectuer les mesures d'inventaire prédéfinies (G , N , h) au moyen des capteurs disponibles actuellement de façon standard sur les smartphones ;

- tester la précision des valeurs obtenues par les capteurs nécessaires aux mesures d'inventaires et formaliser les procédés de calibrage nécessaires ;
- formaliser la manière de procéder pour effectuer les mesures en forêt ainsi que les relevés d'inventaire ;
- définir les fonctions mathématiques et formaliser les processus pour les analyses statistiques ;
- choisir des modèles de simulation préexistants en vue d'une intégration dans MOTI, en particulier SiWaWa.

La troisième étape établit le concept informatique de l'application MOTI. L'importance d'un tel concept peut être comparée à celle des plans architecturaux d'un bâtiment. Ils servent d'une part à organiser et rationaliser le processus de construction et d'autre part à assurer la stabilité des constructions et leur adéquation à l'usage assigné. L'élaboration du concept informatique se base sur l'UML. L'abréviation UML signifie « *Unified Modeling Language* » en anglais ou « langage unifié de modélisation d'objets » en français. L'UML est un langage de modélisation standardisé, très répandu et indépendant de toute plateforme informatique. Il comprend une série de techniques de modélisation qui permettent de représenter sous forme graphique des systèmes informatiques selon différentes perspectives. Dans le cadre de ce projet, trois techniques ont été retenues :

- le diagramme de cas d'utilisation, qui visualise les différents types d'utilisateurs et leurs utilisations du système informatique sous toutes ses formes pertinentes ;
- le diagramme d'activité, qui détaille et formalise les procédures à suivre pour chaque cas d'utilisation ;
- le diagramme de classe, qui se focalise sur les objets nécessaires au bon fonctionnement de toutes les activités du système et qui organise ces objets en un système structuré et cohérent.

L'annexe 2 contient plusieurs exemples de ces différents diagrammes.

La réalisation d'un premier prototype se fait dans le cadre de la quatrième étape, sur la base du concept métier et du concept informatique. L'annexe 3 contient un guide à l'intention des développeurs informatiques. Il informe sur l'environnement de programmation de l'application et définit les règles à suivre lors de la programmation. Il définit aussi les tests que les programmeurs doivent effectuer pour s'assurer de la bonne qualité de la solution développée. C'est seulement après la réussite de l'ensemble de ces tests que le prototype passe des mains des programmeurs à celles des autres membres de l'équipe MOTI pour toute une série de tests au bureau (bon fonctionnement, convivialité de l'interface) et en forêt (précession des mesures, praticabilité). À chaque test correspond un protocole détaillé des aspects à contrôler et de la marche à suivre.

La cinquième étape d'un cycle de développement consiste en un test en forêt avec les partenaires du projet. Chaque participant reçoit plusieurs tâches à effectuer avec l'application. Les membres de l'équipe MOTI observent leur manière d'interagir avec l'application et notent d'éventuelles remarques ou problèmes. Le test se termine sur un bilan avec une mise en évidence et une priorisation des points à améliorer et des points positifs.

La dernière étape consiste à consolider le prototype selon les indications de l'étape précédente et à compléter la documentation.

2.3 Organisation et déroulement du projet

On distingue trois groupes de personnes ayant collaboré au développement de MOTI : (1) l'équipe de développement MOTI, (2) deux experts externes dans le domaine de la croissance forestière et des inventaires forestiers, et (3) un groupe d'accompagnement formé d'un à deux représentants des cantons partenaires du projet.

Équipe MOTI	Christian Rosset (HAFL, professeur en sylviculture et planification forestière) : direction du projet Ulrich Fiedler (BFH-TI, professeur en informatique) : assurance de la qualité de programmation Roland Brand (HAFL, assistant scientifique) : programmation Dominique Weber (HAFL, assistant scientifique) : programmation Clotilde Gollut (HAFL, collaboratrice scientifique) : inventaires forestiers, tests, contact avec les partenaires Eric Wuillemin (HAFL, assistant) : tests, contact avec les partenaires des cantons francophones Iris Caillard (HAFL, assistante) : tests
Experts externes	Jean-Philippe Schütz (Prof. em. EPFZ) : modèle de croissance forestière SiWaWa Adrian Lanz (WSL) : inventaires forestiers
Groupe d'accompagnement	Thomas Zumbrunnen (VD) Martin Haider (ZH) Alain Lambert, Robert Jenni (FR) Alex Arnet, Patrick Schibli (LU) Riet Gordon (GR) Davide Bettelini (TI) Christina Giesch (VS)

La Tab. 2 présente le déroulement du projet pour l'année 2013, au cours de laquelle MOTI a été développé. Le projet s'est terminé avec la rédaction puis la remise du rapport technique en mars 2014. Le projet s'est déroulé selon trois cycles de développement de MOTI, en augmentant à chaque fois le nombre de fonctionnalités (cf. chap. 2.2). Il s'est aussi articulé autour de trois workshops, auxquels a participé le groupe d'accompagnement, et selon une série de tests effectués en forêt chez les cantons partenaires. Les protocoles des workshops sont disponibles dans l'annexe 4.

Tab. 2 : Déroulement du projet articulé selon les rencontres avec les partenaires et les cycles de développement. E: étape, W: workshop.

	Mois en 2013											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Workshop avec les partenaires		W1		W2			W3					
1 ^{er} cycle de développement: mesures de G, N, h et relevé par placette unique	E1											
		E2-4										
			E5									
			E6									
2 ^{ème} cycle de développement: inventaire au niveau du peuplement et analyse statistique		E1										
			E2-4									
				E5								
				E6								
Tests dans les cantons partenaires									Tests			

Les workshops ont été des éléments charnières essentiels au projet, puisqu'ils ont permis de clarifier et prioriser les attentes quant au prochain cycle de développement (étape 1), tout en effectuant les tests en forêt du prototype développé dans le cadre du cycle de développement précédent (étape 5). Les tests dans les cantons partenaires ont permis de contrôler l'utilité et le bon fonctionnement de l'application de base de MOTI dans différentes situations. Les tests ont été effectués dans tous les cantons partenaires à l'exception du Tessin. Cette dernière journée de test est prévue pour le printemps 2014.

3 Concepts métiers

Ce chapitre a pour objectif de présenter les concepts métiers à la base de l'application MOTI. Le chapitre 3.1 présente les différents modes d'utilisation de l'application. Les concepts à la base des mesures de la surface terrière à l'ha (G), du nombre de tiges à l'ha (N), de la hauteur de l'arbre (h) et du matériel sur pied à l'ha (V) sont expliqués dans le chapitre 3.2. Le chapitre 3.3 expose les analyses des résultats de mesure propres aux différents modes d'utilisation et le chap. 3.4 les recommandations pour la mise en œuvre des inventaires par échantillonnage. Pour terminer, le chapitre 3.5 présente les procédures de calibrage du smartphone élaborées afin de garantir de meilleurs résultats de mesure.

3.1 Modes d'utilisation

3.1.1 Mesures uniques

Le mode d'utilisation basique de MOTI consiste à effectuer une mesure unique de G , N , h ou une estimation unique de V à partir d'un point quelconque en forêt. L'application est alors simplement utilisée comme instrument de mesure. La surface terrière est mesurée selon le principe de la placette à angle constant (méthode de Bitterlich, chap. 3.2.1), le nombre de tiges selon celui de la placette à rayon constant (chap. 3.2.2), la hauteur de l'arbre selon le principe trigonométrique, sans mesure de distance (chap. 3.2.3) et le matériel sur pied est estimé à l'aide des coefficients de forme V^7/G issus du calendrier forestier suisse et bien connus des praticiens (chap. 3.2.4).

3.1.2 Mesures combinées

Le deuxième mode d'utilisation de MOTI consiste à combiner les mesures de G , N et h sur une placette. Cette placette de centre ω est la combinaison d'une placette à rayon r constant pour la mesure de N et d'une placette à angle α constant pour la mesure de G (Fig. 3). L'utilisateur choisit l'emplacement du centre ω ainsi que la taille de la placette, autrement dit son rayon r ainsi que l'angle constant α , ou plus exactement le facteur de comptage k utilisé (cf. 3.2.1).

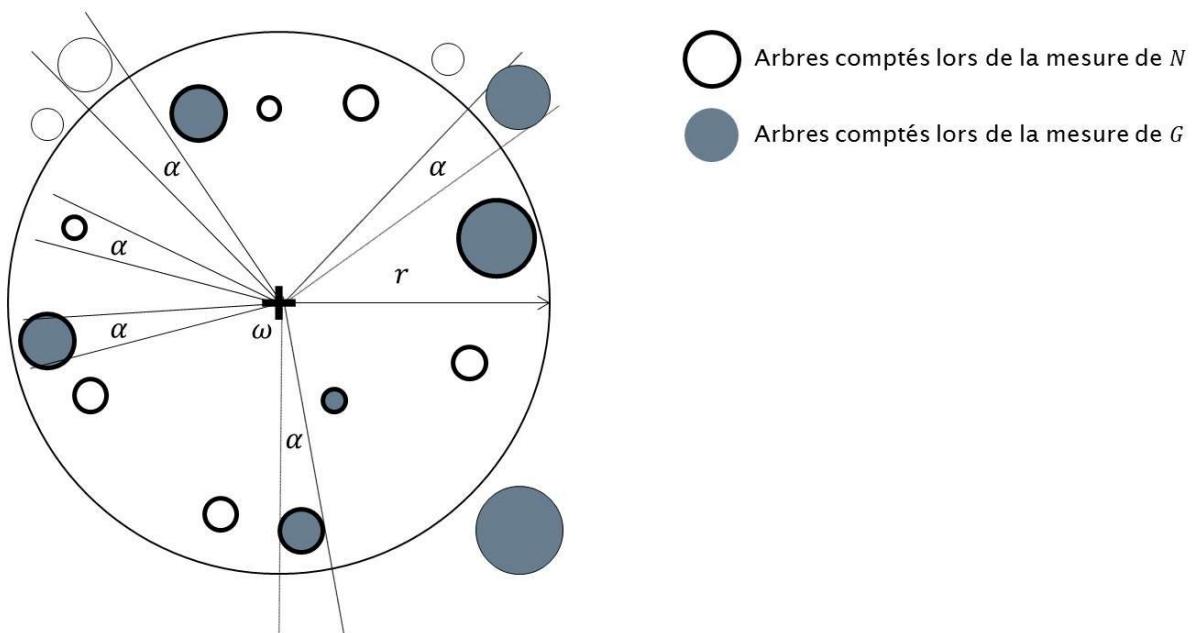


Fig. 3 : Principe des mesures combinées sur une placette. La placette de centre ω est la combinaison d'une placette à rayon r constant pour le relevé du nombre de tiges à l'ha, et d'une placette à angle α constant pour le relevé de la surface terrière à l'ha.

3.1.3 Inventaires par échantillonnage

Le troisième mode d'utilisation de MOTI consiste à effectuer un inventaire par échantillonnage composé de plusieurs placettes. MOTI propose deux types d'inventaires : l'inventaire au niveau du peuplement et l'inventaire « local ». Au niveau du peuplement, les placettes sont disposées de manière aléatoire. Dans le cadre d'un inventaire local, p. ex. à l'échelle d'un massif forestier ou d'une unité de gestion, les placettes sont disposées sur un maillage systématique.

Pour ces deux types d'inventaires, les résultats sont calculés de la même manière (cf. chap. 3.3.2) : MOTI calcule d'une part l'estimation des valeurs cibles, p. ex. la surface terrière à l'ha, pour l'ensemble du périmètre inventorié et d'autre part une estimation de la marge d'erreur de ces estimations. MOTI indique toujours l'erreur standard qui peut être interprétée comme l'intervalle de confiance à 66%. Chaque fois qu'une placette supplémentaire est relevée, les résultats de l'inventaire sont actualisés. De cette manière, l'utilisateur connaît à chaque moment la précision des estimations obtenues.

Dans le cadre de l'inventaire au niveau du peuplement, MOTI propose un design à l'utilisateur d'inventaire (nombre et taille des placettes) en fonction du mélange du peuplement, du diamètre dominant et de la précision des estimations voulue (cf. chap. 3.4.1).

3.1.4 Extension SiWaWa

L'extension SiWaWa peut être activée à choix. SiWaWa est un modèle de simulation de croissance forestière à l'échelle du peuplement disponible en version desktop depuis 2012 (téléchargement gratuit sous <http://siwawa.org>). Ce modèle convient particulièrement par sa simplicité : en effet, il suffit d'indiquer la surface terrière à l'ha (G) et le nombre de tiges à l'ha (N) d'un peuplement pour générer sa courbe de répartition des tiges par classe de diamètre. En indiquant encore la hauteur dominante h_{dom} du peuplement ou l'indice de fertilité de la station, SiWaWa calcule les variables dendrométriques de base propre au peuplement (âge, matériel sur pied, accroissement, etc.) et simule sa croissance, y compris l'évolution de la mortalité causée par la concurrence au sein du peuplement.

La version desktop de SiWaWa permet également de simuler des interventions sylvicoles. L'utilisateur décide d'un programme d'intervention (nombre, type, intensité et moment des interventions), et SiWaWa calcule les quantités d'exploitation correspondantes ainsi que l'évolution du peuplement soumis au traitement sylvicole défini. Cette fonctionnalité permet par exemple de comparer différentes variantes sylvicoles et de développer une solution optimale par rapport aux objectifs de production définis pour le peuplement en question.

Ce volet de SiWaWa (simulation d'interventions sylvicoles) n'a pas été implémenté dans MOTI. La raison principale étant la taille de l'écran des smartphones qui force à réduire au maximum la complexité de l'interface et la quantité d'informations représentées. Dans sa version MOTI, SiWaWa apporte toutefois des avantages indéniables à l'utilisateur à savoir : (1) SiWaWa permet de représenter l'état actuel du peuplement de manière plus détaillée que ne le fait MOTI sans l'extension (p. ex. répartition des tiges par classe de diamètre, calcul de l'indice de fertilité de la station, âge du peuplement, estimation plus précise du matériel sur pied, etc.) et (2) SiWaWa permet de simuler l'évolution du peuplement sur une période de 30 ans, ce qui aide par exemple à estimer l'urgence de la prochaine intervention. Sans compter que ces informations sont mises à la disposition de l'utilisateur instantanément et sur le terrain bien entendu. Des informations complètes sur le modèle de croissance SiWaWa ainsi que sur l'outil informatique sont disponibles dans le rapport final du projet qui leur a été consacré à la HAFL (Rosset et al. 2013b).

3.2 Mesures

3.2.1 Mesure de la surface terrière à l'ha

mesure de la surface terrière à l'ha G se fait sur la base de la méthode de Bitterlich (voir p. ex. Pardé & Bouchon 1988 ; Kramer & Akça 2008). Cette méthode consiste à effectuer un tour d'horizon complet en visant tous les arbres environnants à hauteur de poitrine (1.30 m) à l'aide l'appareil de mesure. Avec un appareil du type relascope de Bitterlich, dendromètre de Kramer ou « porc-épic », on compte les arbres dont le tronc apparaît comme étant plus large ou égal à la largeur de l'encoche de l'appareil. Avec le prisme relascopique, on compte un arbre si l'image du tronc à l'intérieur du prisme recoupe l'image du tronc en dehors du prisme. Si au contraire les deux images ne se recoupent pas, l'arbre n'est pas compté.

Une fois le tour d'horizon effectué, la surface terrière à l'ha G [m^2/ha] s'obtient en multipliant le nombre de tiges comptées n par le facteur de comptage k utilisé :

$$G = k \cdot n \quad (1)$$

Le facteur de comptage k est le reflet de l'angle constant α qui caractérise l'appareil de mesure. Chez les appareils à encoche de type dendromètre ou « porc-épic » par exemple, l'angle α est défini par le rapport entre la largeur de l'encoche et la distance entre l'appareil et l'œil de l'utilisateur. L'angle α d'un prisme relascopique est défini par sa dioptrie. Quant au relascope de Bitterlich, l'angle α est défini à l'intérieur du boîtier par un mécanisme optique.

En général, les appareils de mesure proposent les facteurs de comptage 1, 2 et 4. Avec un facteur $k = 1$, chaque arbre compté correspond à une surface terrière de $1 \text{ m}^2/\text{ha}$, avec un facteur $k = 2$, chaque arbre correspond à $2 \text{ m}^2/\text{ha}$ et ainsi de suite (cf. formule (1)).

L'angle constant α définit le rayon critique r_i à partir duquel un arbre de DHP d_i est compté (Fig. 4).

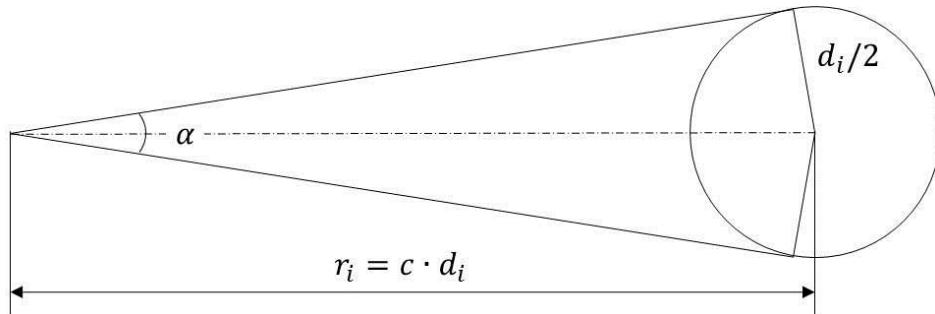


Fig. 4 : L'angle constant et le rayon critique. L'angle constant α définit le rayon critique r_i spécifique à chaque DHP d_i à l'intérieur duquel l'arbre sera compté. Passé ce rayon, l'arbre de DHP d_i visé à 1.30 m apparaît comme étant plus étroit que la largeur du viseur et n'est pas compté. Si l'arbre est situé sur son rayon critique, alors la largeur du tronc correspond exactement à celle du viseur.

Selon la formule (2) plus le DHP d_i d'un arbre est important, plus grand est son rayon critique r_i :

$$r_i = c \cdot d_i \quad (2)$$

La constante c dépend du facteur de comptage k utilisé :

$$c = \frac{50}{\sqrt{k}} \quad (3)$$

De la Fig. 4 il découle :

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{d_i/2}{c \cdot d_i} = \frac{1}{2c} \quad (4)$$

En considérant la formule (3), la relation entre l'angle critique α et le facteur de comptage k est la suivante :

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\sqrt{k}}{100} \quad (5)$$

MOTI reprend la méthode de Bitterlich en insérant deux marques triangulaires à l'écran du smartphone en surimpression de l'image retransmise par l'appareil photo. Ces marques servent de référence pour le comptage des arbres visés à 1.30 m. Si le tronc apparaît à l'écran comme étant plus large que l'encoche formée par les bases des deux triangles, l'arbre sera compté, et s'il apparaît comme étant plus étroit, l'arbre ne sera pas compté (Fig. 5).

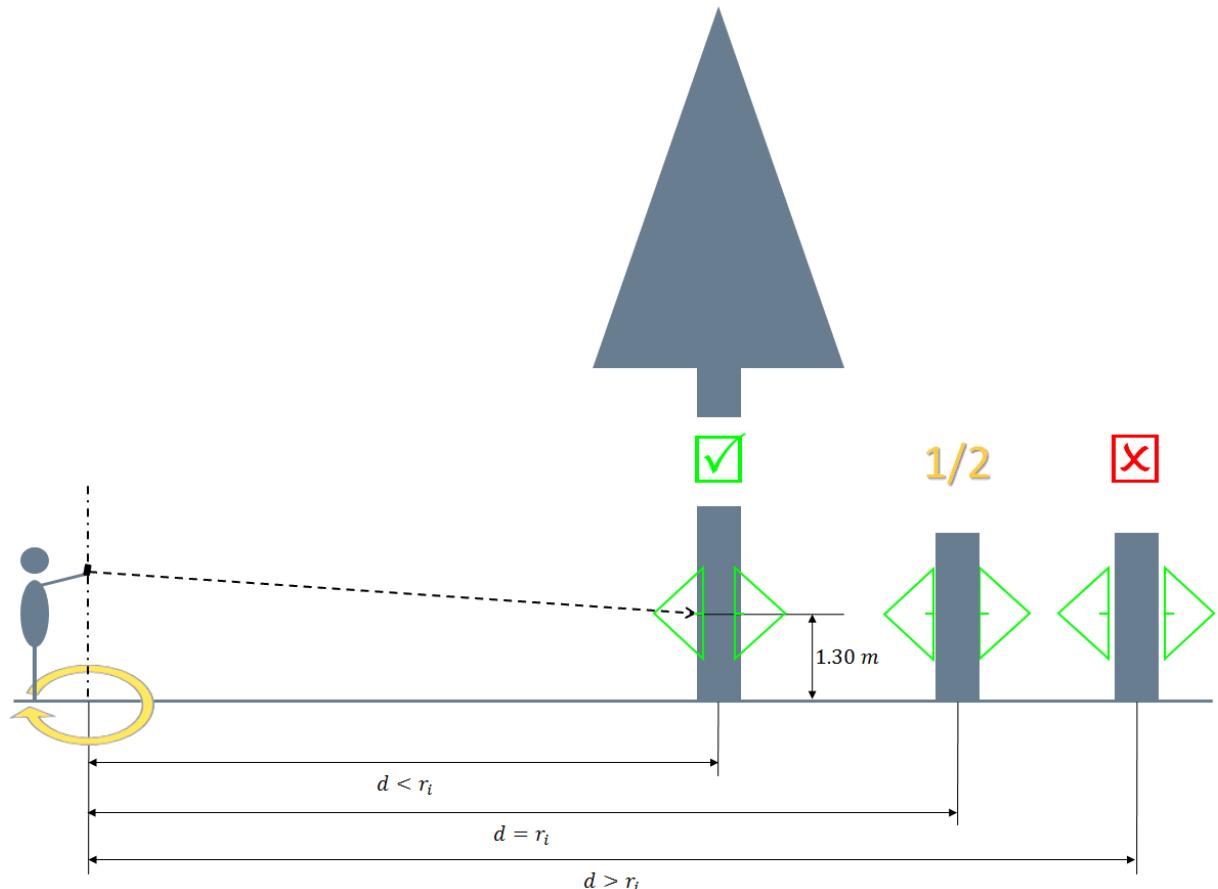


Fig. 5 : Principe de la mesure de la surface terrière à l'ha avec MOTI. L'utilisateur effectue un tour d'horizon complet et vise tous les arbres à hauteur de poitrine (1.30 m). Il compte les arbres dont le tronc apparaît comme étant plus large que l'encoche formée par les deux marques triangulaires à l'écran, soit ceux qui se trouvent à une distance $d < r_i$ du smartphone. L'utilisateur veille à ce que son smartphone reste sur l'axe de rotation tout au long du relevé.

La largeur de l'encoche formée par les triangles à l'écran est calculée en fonction du facteur de comptage k choisi par l'utilisateur. Dans un premier temps, l'angle constant α correspondant au facteur k choisi est calculé selon la formule (5). Puis, dans un deuxième temps, la largeur a [pixel] de l'encoche est déterminée selon la relation trigonométrique (6) illustrée dans la Fig. 6. La largeur b [pixel] de l'écran ainsi que l'angle de champ horizontal β sont des constantes connues propres à l'appareil utilisé.

$$\frac{a/2}{\tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{b/2}{\tan \frac{\beta}{2}} \quad (6)$$

On notera ici que la relation (6) n'est valable qu'à condition que l'image ne subisse aucune distorsion de type « bâillet » (image bombée vers l'extérieur) ou « coussinet » (image enfoncee à l'intérieur).

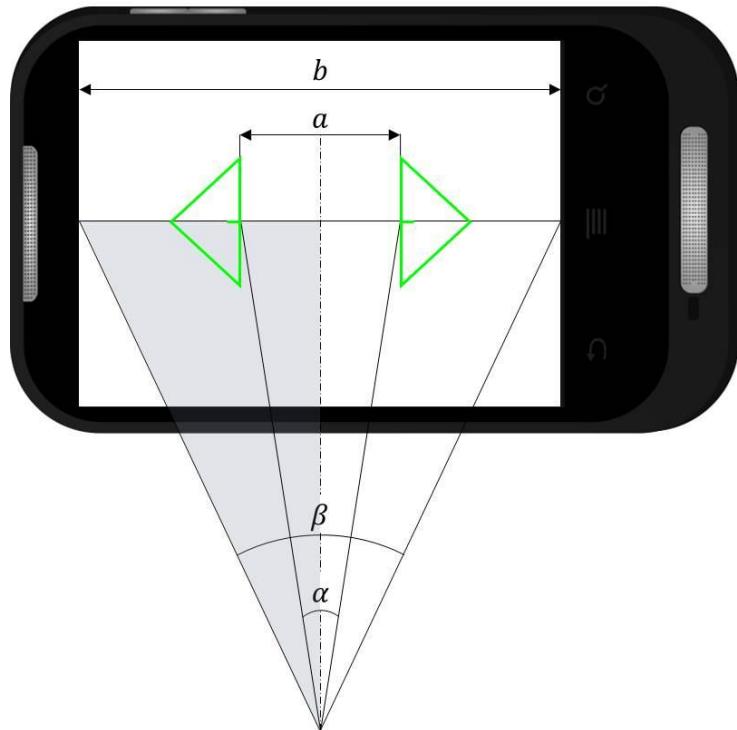


Fig. 6 : Détermination de la largeur a de l'encoche à l'écran. La largeur a de l'encoche à l'écran est calculée selon la relation trigonométrique mise en évidence en gris à savoir que le rapport entre la longueur $a/2$ et la tangente de l'angle $\alpha/2$ est égal au rapport entre la longueur $b/2$ et la tangente de l'angle $\beta/2$. L'angle critique α est défini par le facteur de comptage k choisi par l'utilisateur, quant à la largeur b de l'écran et à l'angle de champ horizontal β , ce sont des constantes connues propres à l'appareil utilisé.

Le principe à la base de la méthode de Bitterlich illustré à la Fig. 4 se réfère au plan horizontal. Par conséquent, dès l'instant où le smartphone est incliné vers le haut ou vers le bas au moment de la visée, une correction est nécessaire. On distingue deux raisons pour lesquelles il est nécessaire d'incliner le smartphone pour viser le tronc à 1.30 m du sol : un terrain en pente et/ou une différence de hauteur entre le point visé à 1.30 m et le smartphone, que l'utilisateur tient en général à la hauteur de ses yeux.

Le facteur de correction de la largeur a [pixel] de l'encoche formée par les deux marques à l'écran n'est autre que le cosinus de l'inclinaison γ du smartphone au moment de la visée mesurée en temps réel par les capteurs du smartphone (cf. formule (7)). Le cosinus de l'inclinaison γ correspond au rapport entre la distance horizontale et la distance réelle entre le smartphone et le point visé.

$$x_{\text{corrige}} = x \cdot \cos \gamma \quad (7)$$

A l'exception du relascope de Bitterlich, les appareils de mesures traditionnels n'effectuent pas de correction en fonction de l'inclinaison de l'appareil. Les résultats des mesures doivent être corrigés à postériori à l'aide de facteurs de correction qui tiennent uniquement compte de la déclivité du terrain et non de la différence de hauteur entre le smartphone et le point visé.

Comme avec les autres appareils de mesure à dispositif optique (relascope de Bitterlich, prisme), l'utilisateur tient son smartphone sur le centre de rotation lorsqu'il effectue son tour à 360° (cf. Fig. 4). Ainsi, l'utilisateur ne tourne pas sur lui-même, comme il le ferait avec un appareil à encoche du type dendromètre ou « porc-épic », mais autour de son smartphone. Avec les appareils à encoche, l'angle constant α est généré au niveau des yeux de l'utilisateur puisqu'il résulte du rapport entre la largeur de l'encoche et la distance entre l'appareil et les yeux de l'utilisateur. Les yeux de l'utilisateur doivent donc se trouver sur le centre de rotation lors de la mesure, l'utilisateur tourne sur lui-même. Avec les appareils à dispositif optique, l'angle α est généré à l'intérieur même de l'appareil, dans l'objectif de l'appareil photo avec MOTI, c'est donc l'appareil qui doit se trouver sur le centre de rotation.

La méthode de mesure de la surface terrière à l'ha présentée ici présente deux limitations. Premièrement, l'utilisateur se doit de tenir son smartphone à l'horizontale lors de la visée sans quoi cette dernière serait imprécise. Et deuxièmement, la méthode n'est pas fiable si l'image retransmise par l'appareil photo subit une déformation non linéaire, de type « barilet » ou « coussinet », ce qui est par exemple le cas avec un appareil photo grand angle.

3.2.2 Mesure du nombre de tiges à l'ha

Pour déterminer le nombre de tiges à l'hectare, MOTI se base sur une placette à rayon r constant dont la surface λ_A est connue. Pour obtenir le nombre de tiges à l'ha N [#/ha], il suffit de compter les arbres qui se trouvent à l'intérieur de la placette et de multiplier ce nombre n par le facteur f :

$$N = f \cdot n \quad (8)$$

Le facteur f n'est autre que l'inverse de la surface λ_A [ha] de la placette :

$$f = \frac{1}{\lambda_A} \quad (9)$$

Selon la même idée que pour la mesure de la surface terrière à l'ha, MOTI insère deux marques triangulaires à l'écran, en surimpression de l'image retransmise par l'appareil photo. Ces marques servent de référence pour évaluer la distance entre le smartphone et le centre ω de la placette où un jalon a été placé. Au préalable, deux marques bien visibles ont été fixées sur le jalon à des hauteurs h_1 et h_2 du sol connues, formant ainsi un intervalle. Dans l'exemple illustré à la Fig. 7, l'intervalle est formé par les faces internes des marques jaunes, soit les faces dirigées vers le milieu du jalon.

Pour savoir s'il se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur de la placette de centre ω et de rayon r , il suffit à l'utilisateur de viser le milieu du jalon placé au centre avec son smartphone. S'il se trouve à l'intérieur de la placette, soit à une distance $d < r$ du centre ω , les bases des triangles verts à l'écran se trouvent à l'intérieur de l'intervalle formé par les marques fixées sur le jalon. L'arbre est compté. S'il se trouve à l'extérieur de la placette, soit à une distance $d > r$ du centre ω , les bases des triangles verts à l'écran se trouvent à l'extérieur de l'intervalle formé par les marques fixées sur le jalon. L'arbre n'est pas compté. On notera que c'est toujours le milieu du tronc qui fait foi pour déterminer si un arbre se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur de la placette.

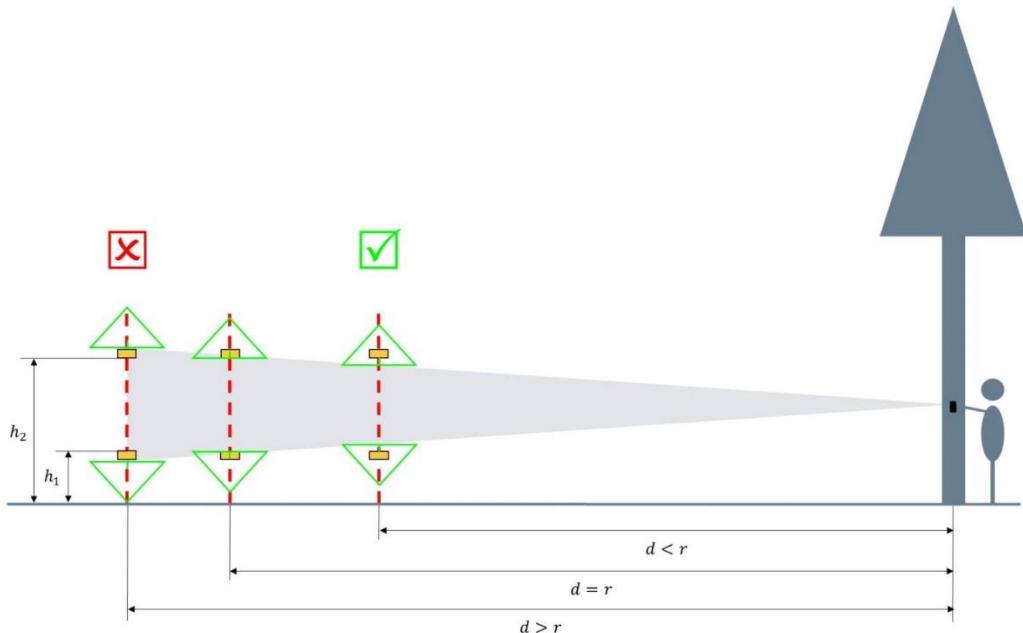


Fig. 7 : Principe de la mesure du nombre de tiges à l'ha avec MOTI. Lorsque l'utilisateur vise le milieu du jalon depuis une distance $d = r$ équivalente au rayon de la placette circulaire, l'écart formé par les deux triangles à l'écran correspond exactement à l'intervalle formé par les deux marques sur le jalon. Si le milieu du tronc de l'arbre se trouve à l'intérieur de la placette ($d < r$), alors l'arbre est compté et s'il se trouve à l'extérieur de la placette ($d > r$), l'arbre n'est pas compté.

Lorsque le smartphone se trouve à une distance $d = r$ du centre ω de la placette, les marques triangulaires apparaissent exactement sur les marques de référence fixées sur le jalon à h_1 et h_2 à l'écran. L'angle α qui, à une distance $d = r$, caractérise l'intervalle formé par les marques sur le jalon ainsi que celui formé par les deux triangles à l'écran est obtenu de la manière suivante (Fig. 8) :

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{(h_2 - h_1)/2}{r} \quad (10)$$

$$\alpha = 2 \arctan \frac{(h_2 - h_1)/2}{r} \quad (11)$$

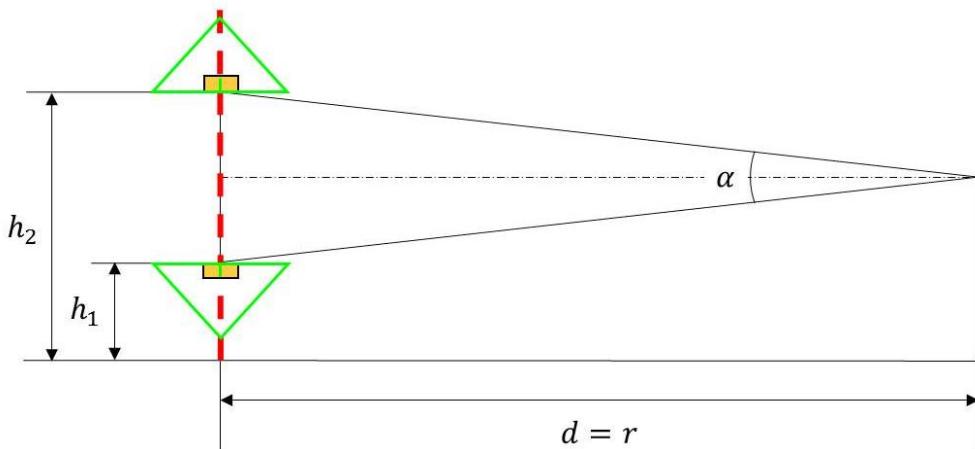


Fig. 8 : Calcul de l'angle α qui caractérise l'intervalle entre les marques fixées sur le jalon à une distance $d = r$. L'angle α dépend du rayon r de la placette ainsi que de la hauteur de l'intervalle formé par les marques de références fixées aux hauteurs à h_1 et h_2 sur le jalon.

Une fois l'angle α déterminé, la hauteur a [pixel] de l'encoche entre les marques triangulaires à l'écran est calculée selon la relation trigonométrique (12) illustrée dans la Fig. 9. La hauteur b [pixel] de l'écran ainsi que l'angle de champ vertical β sont des constantes connues propres à l'appareil utilisé.

$$\frac{a/2}{\tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{b/2}{\tan \frac{\beta}{2}} \quad (12)$$

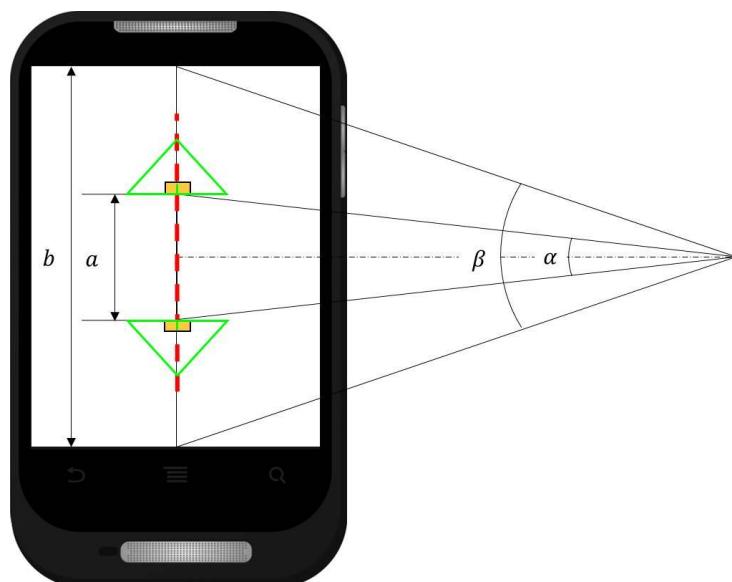


Fig. 9 : Détermination de la hauteur a de l'encoche à l'écran. L'angle α est défini par le rayon de la placette choisi par l'utilisateur ainsi que par la hauteur de l'intervalle formé par les marques fixées sur le jalon, quant à la hauteur b de l'écran et à l'angle de champ vertical β , ce sont des constantes connues propres à l'appareil utilisé.

On notera qu'ici aussi, que la relation (12) n'est valable qu'à condition que l'image ne subisse aucune distorsion de type « barilet » ou « coussinet ».

La hauteur a [pixel] de l'encoche entre les marques triangulaires à l'écran est constante, du moment que le smartphone est tenu de manière absolument verticale. Dès l'instant où le smartphone est incliné vers le haut ou vers le bas pour viser le milieu du jalon, par exemple parce que le terrain est en pente, la hauteur a doit être corrigée en fonction de l'inclinaison γ du smartphone au moment de la visée.

La Fig. 10 illustre le phénomène. Dans le cas de figure A, le smartphone est tenu parfaitement à la verticale lors de la visée. Dans le cas de figure B, le smartphone est incliné vers le haut pour viser le milieu du jalon. On distingue alors deux effets : premièrement, il apparaît que l'angle qui caractérise l'intervalle h formé par les deux marques fixées sur le jalon est à son maximum lorsqu'on vise à l'horizontale, c'est-à-dire dans le cas A. Dès qu'on incline le smartphone, comme dans le cas B, l'angle se referme. Le deuxième effet observé est le suivant : dans le cas de figure A, on remarque que les angles qui caractérisent les moitiés inférieure et supérieure de l'intervalle, égale chacune à $h/2$, sont identiques. Chaque angle correspond à la moitié de l'angle α . Dans le cas de figure B, les angles qui caractérisent les deux moitiés de l'intervalle ne sont pas identiques : l'angle δ_1 qui correspond à la moitié inférieure de l'intervalle sur le jalon est plus grand que l'angle δ_2 qui correspond à la moitié supérieure.

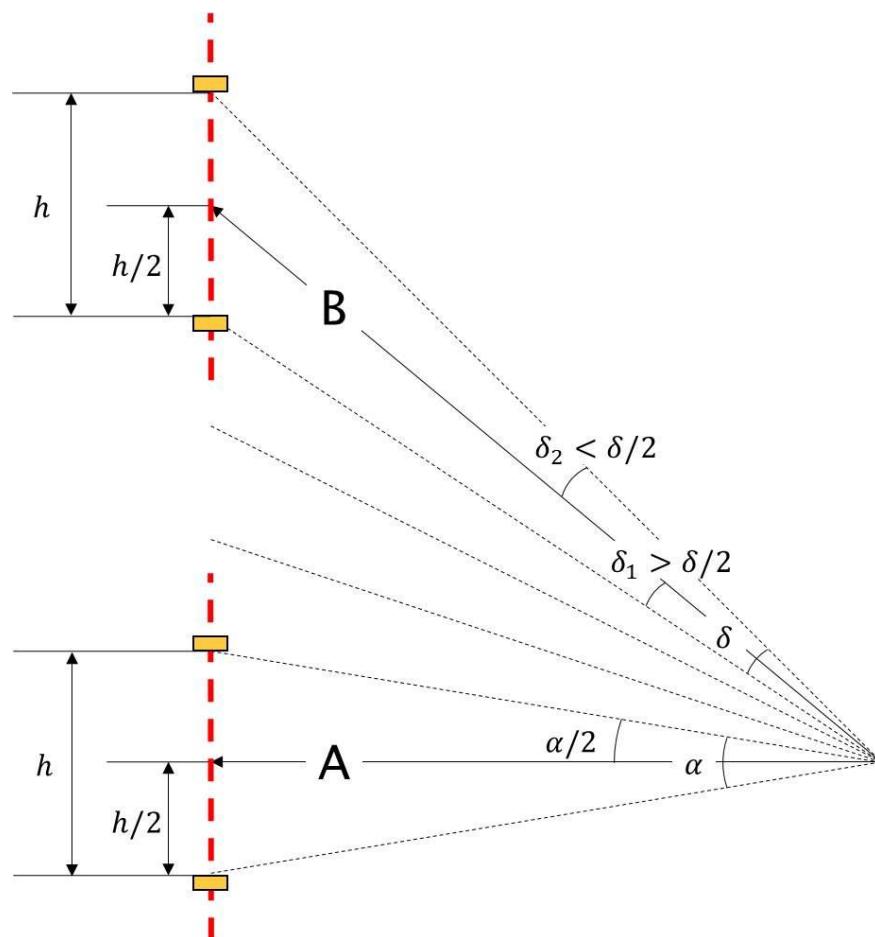


Fig. 10 : Influence de l'inclinaison du smartphone sur l'angle qui caractérise l'intervalle formé par les marques de référence sur le jalon. Plus le smartphone est incliné, plus l'angle se referme.

Dès l'instant où le smartphone est soumis à une inclinaison γ au moment de la visée, il ne suffit plus de déterminer un angle α , comme illustré dans la Fig. 8 et la Fig. 10, mais deux angles δ_1 et δ_2 (Fig. 10). Les angles δ_1 et δ_2 sont calculés selon le principe trigonométrique illustré dans la Fig. 11 et la Tab. 3.

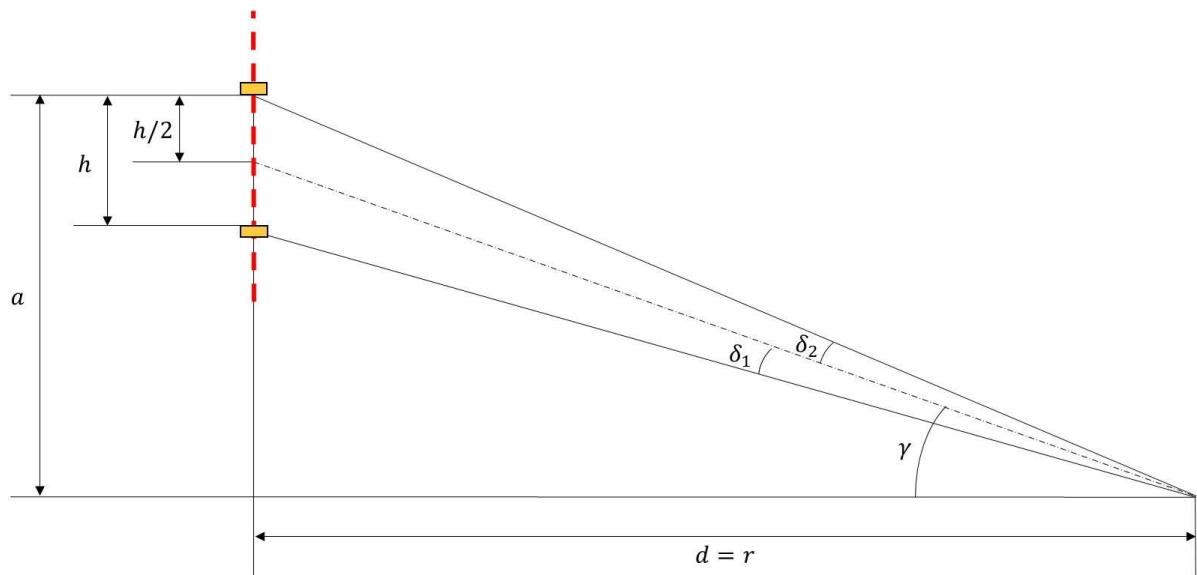


Fig. 11 : Principe trigonométrique selon lequel les angles δ_1 et δ_2 sont déterminés. Les angles δ_1 et δ_2 caractérisent les moitiés inférieure et supérieure de l'intervalle h formé par les marques fixées sur le jalon lorsque le smartphone est soumis à une inclinaison γ .

On notera que les formules pour le calcul des angles δ_1 et δ_2 (cf. Tab. 3) sont identiques, que le smartphone soit incliné vers le haut ($\gamma > 0$) ou vers le bas ($\gamma = 0$).

Tab. 3 Détermination des angles δ_1 et δ_2 en fonction du rayon r de la placette, de la hauteur h de l'intervalle formé par les marques sur le jalon ainsi que de l'inclinaison γ du smartphone. Les formules sont identiques dans les deux cas de figure $\gamma > 0$ et $\gamma < 0$.

Inclinaison γ	> 0	< 0
δ_1	$\tan(\gamma + \delta_1) = \frac{a - h}{r}$ $\tan \gamma = \frac{a - h/2}{r}$ $\delta_1 = \text{atan}(\tan \gamma - \frac{h}{2r}) - \gamma$	$-\tan \gamma = \frac{a - h/2}{r}$ $-\tan(\gamma + \delta_1) = \frac{a}{r}$ $\delta_1 = \text{atan}(\tan \gamma - \frac{h}{2r}) - \gamma$
δ_2	$\tan(\gamma + \delta_2) = \frac{a}{r}$ $\tan \gamma = \frac{a - h/2}{r}$ $\delta_2 = \text{atan} \left(\tan \gamma + \frac{h}{2r} \right) - \gamma$	$-\tan \gamma = \frac{a - h/2}{r}$ $-\tan(\gamma + \delta_2) = \frac{a - h}{r}$ $\delta_2 = \text{atan}(\tan \gamma + \frac{h}{2r}) - \gamma$

Une fois les angles δ_1 et δ_2 déterminés, et étant donné que les constantes e (hauteur de l'écran [pixel]) et ε (angle de champ vertical) propres à l'appareil utilisé sont connues, les hauteurs d_1 et d_2 [pixel] des espaces entre le centre de l'écran et les deux marques triangulaires peuvent être calculées sur la base de la relation trigonométrique suivante, illustrée dans la Fig. 12:

$$\frac{d_1}{\tan \delta_1} = \frac{d_2}{\tan \delta_2} = \frac{e/2}{\tan \frac{\varepsilon}{2}} \quad (13)$$

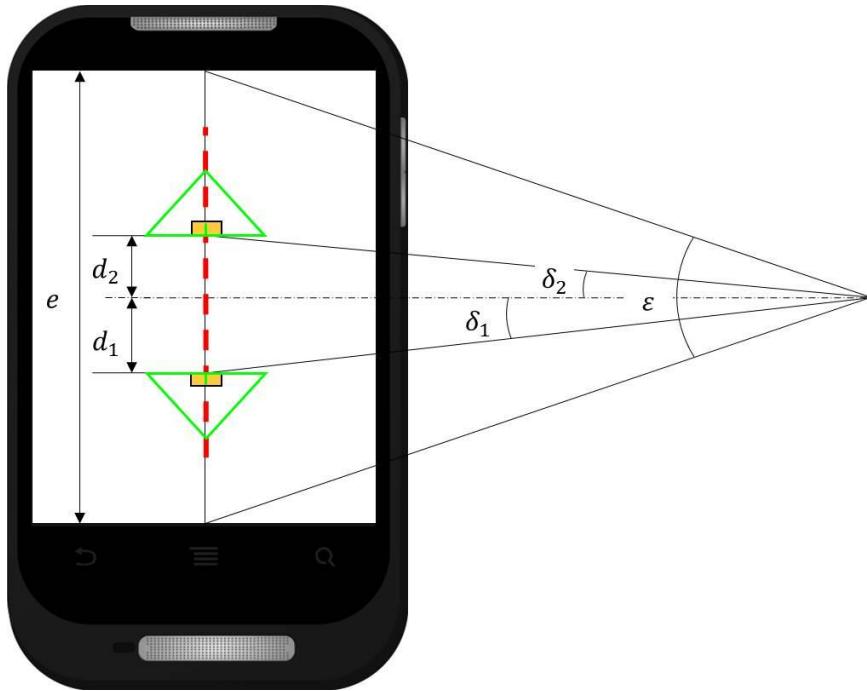


Fig. 12 : Détermination de la hauteur $d_1 + d_2$ de l'encoche à l'écran. Les angles δ_1 et δ_2 sont définis par le rayon de la placette choisi par l'utilisateur, par la hauteur de l'intervalle formé par les marques fixées sur le jalon ainsi que par l'inclinaison du smartphone au moment de la visée. Quant à la hauteur e de l'écran et à l'angle de champ vertical ε , ce sont des constantes connues propres à l'appareil utilisé.

La méthode de mesure du nombre de tiges à l'ha présente les mêmes limitations que celle de la mesure de la surface terrière à l'ha, à savoir : l'utilisateur se doit de tenir son smartphone parfaitement à la verticale lors de la visée et la méthode n'est pas fiable si l'image retransmise par l'appareil photo subit une déformation non linéaire.

La méthode de mesure du nombre de tiges à l'ha présente les mêmes limitations que celle de la mesure de la surface terrière à l'ha, à savoir : l'utilisateur se doit de tenir son smartphone parfaitement à la verticale lors de la visée et la méthode n'est pas fiable si l'image retransmise par l'appareil photo subit une déformation non linéaire.

3.2.3 Mesure de la hauteur de l'arbre

La mesure de la hauteur de l'arbre h s'effectue selon le principe trigonométrique, sans mesure de distance (voir p.ex. Kramer & Akça 2008). Pour ce faire, un jalon muni d'une marque bien visible à une hauteur l [m] connue du sol est positionné à côté de l'arbre, à la hauteur du centre du tronc. Trois visées sont alors effectuées (Fig. 13) : le pied de l'arbre, la marque sur le jalon et le sommet de l'arbre. Les capteurs du smartphone mesurent les trois angles correspondant en temps réel : l'angle α entre l'horizontale et le pied de l'arbre, l'angle β entre l'horizontale et la marque et enfin l'angle γ entre l'horizontale et le sommet de l'arbre. Chaque angle correspond à l'inclinaison du smartphone par rapport à l'horizontale au moment de la visée.

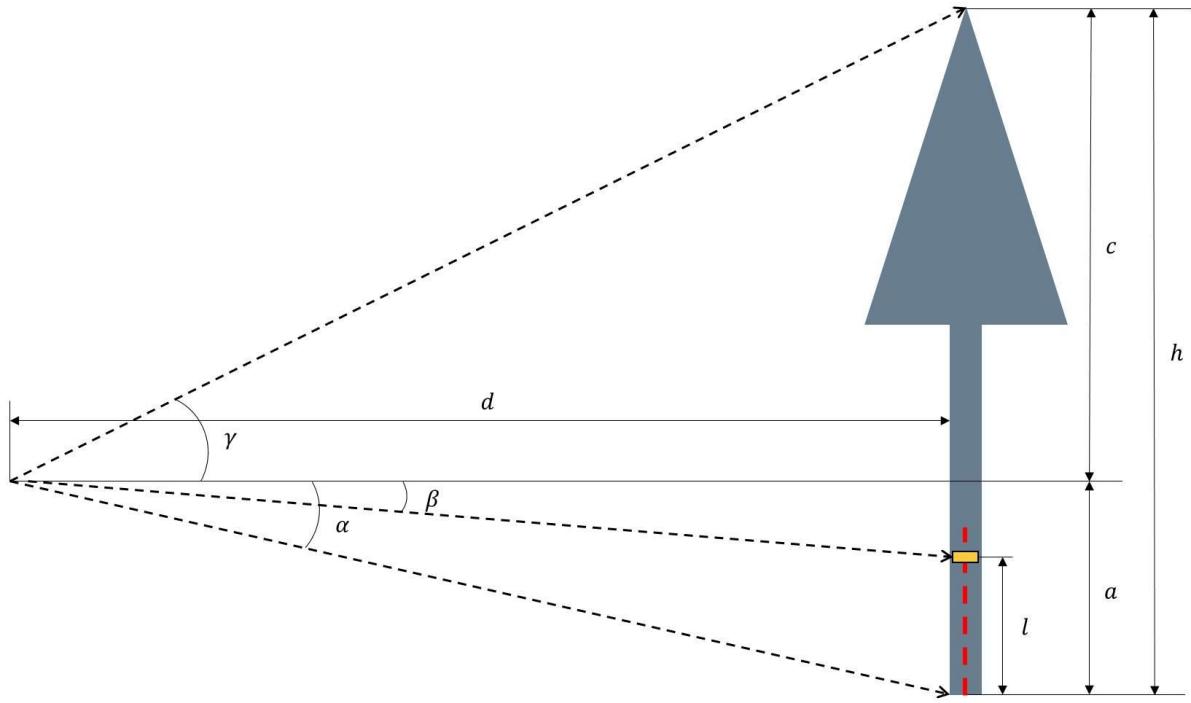


Fig. 13 : Mesure de la hauteur h d'un arbre selon le principe trigonométrique, sans mesure de distance. La hauteur l de l'objet de référence par rapport au sol doit être connue.

Afin de respecter le principe trigonométrique sur lequel repose la mesure de h , il est nécessaire que le point de rotation, le smartphone et le point visé se trouvent dans un même alignement au moment de la visée. Cette condition est respectée si on travaille les bras tendus comme illustré à la Fig. 14 : l'axe de rotation se situe au niveau des épaules et le smartphone se retrouve automatiquement dans l'alignement épaules – point visé. On notera que les angles mesurés se réfèrent toujours à l'horizontale, la pente éventuelle du terrain est par conséquent automatiquement prise en compte.

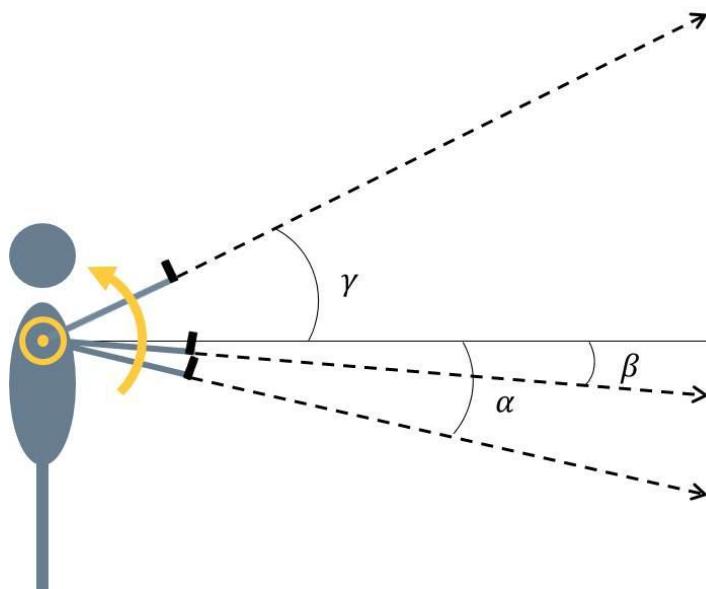


Fig. 14 : Mesure de la hauteur h avec MOTI. En travaillant les bras tendus, le smartphone se trouve automatiquement dans l'alignement épaules – point visé, le principe trigonométrique à la base de la mesure de h est ainsi respecté.

Selon les relations trigonométriques illustrées à la Fig. 13 et repris par Itoh & al. (2010), la distance horizontale d [m] entre le point de rotation, soit les épaules de l'utilisateur, et l'arbre est calculée sur la base des mesures des angles α et β ainsi que de la hauteur l [m] à laquelle est fixée la marque de référence sur le jalon :

$$d = \frac{l}{-\tan \alpha + \tan \beta} \quad (14)$$

Après avoir mesuré le troisième angle γ , la hauteur de l'arbre h [m] est déterminée de la manière suivante :

$$a = \begin{cases} -d \tan \alpha, & \alpha < 0 \\ d \tan \alpha, & \alpha \geq 0 \end{cases} \quad (15)$$

$$c = \begin{cases} -d \tan \gamma, & \gamma < 0 \\ d \tan \gamma, & \gamma \geq 0 \end{cases} \quad (16)$$

$$h = \begin{cases} |a + c|, & (\alpha < 0 \cap \gamma < 0) \cup (\alpha \geq 0 \cap \gamma \geq 0) \\ a + c, & (\alpha < 0 \cap \gamma \geq 0) \end{cases} \quad (17)$$

3.2.4 Estimation du matériel sur pied à l'ha

Le matériel sur pied est estimé à l'aide des coefficients de forme V^7/G issus du « Schweizerischer Forstkalender 2014 » (Raemy, 2013) qui se basent sur les tables de production suisses de l'Institut fédéral de recherches forestières (1968, 1983). L'estimation du volume de bois fort V^7 à l'ha [m³/ha] est obtenue en multipliant la surface terrière à l'ha G [m²/ha] par le coefficient V^7/G ad hoc :

$$V^7 = G \cdot V^7/G \quad (18)$$

Les coefficients V^7/G existent pour le hêtre (*Fagus sylvatica*), l'épicéa (*Picea abies*), le sapin blanc (*Abies alba*) et le mélèze (*Larix decidua*). En plus de l'essence, ils dépendent de la hauteur dominante h_{dom} du peuplement (Tab. 4).

Tab. 4 : Coefficients de forme V^7/G . Source : Raemy 2013.

	Hauteur dominante h_{dom} [m]						
	10	15	20	25	30	35	40
Épicéa	2.1	5.3	8.2	10.8	13.2	15.1	16.7
Sapin	3.3	5.6	8.0	10.6	13.2	16.1	18.3
Mélèze	3.0	5.5	7.8	10.1	12.2	14.2	16.0
Hêtre	2.5	5.2	8.0	11.0	14.2	17.6	21.1

Lors de l'estimation du matériel sur pied, MOTI assimile toutes les essences feuillues au hêtre, le pin au mélèze et les essences résineuses autres que le sapin, le pin et le mélèze à l'épicéa. Le matériel sur pied total V [m³/ha] est estimé en additionnant les volumes de bois fort des essences en présence, qui eux sont calculés en multipliant la surface terrière à l'ha G_i [m²/ha] de l'essence i en question par le coefficient V^7/G correspondant.

Comme cela apparaît dans la Tab. 4 les coefficients de forme sont non seulement différenciés selon l'essence, mais aussi selon la hauteur dominante h_{dom} [m]. Si la hauteur dominante est connue, elle peut être saisie manuellement dans MOTI, l'estimation du volume se fait alors en fonction de cette hauteur. Si par contre la hauteur dominante n'est pas connue, elle peut être estimée en mesurant la hauteur du deuxième plus gros arbre, soit l'arbre avec le deuxième DHP le plus important, dans un rayon de 10 m. On notera qu'on considère la même hauteur dominante pour toutes les essences en présence.

3.3 Traitement des résultats

Lorsque MOTI est utilisé pour effectuer une mesure unique (chap. 3.1.1), le résultat de la mesure n'est pas sauvegardé. Lorsque par contre les mesures sont combinées sur une placette (chap. 3.1.2) et que ces placette sont éventuellement intégrées à un inventaire par échantillonnage (chap. 3.1.3), alors les résultats sont sauvegardés et traités. Le chapitre 3.3.1 présente la manière dont les résultats de mesure sont traités au niveau d'une placette, et le chapitre 3.3.2 au niveau d'un inventaire. Le chapitre 3.4 quant à lui expose les recommandations faites par MOTI déjà évoquées chapitre 3.1.3 par rapport au design des inventaires de peuplements.

3.3.1 Placette

Une fois les mesures de G , N et éventuellement h effectuées, les résultats suivants sont générés au niveau de la placette de centre ω :

(a) Surface terrière à l'ha

La surface terrière à l'ha G [m^2/ha] est calculée en multipliant le nombre d'arbres comptés n sur la placette à angle constant par le facteur de comptage k utilisé (cf. chap. 3.2.1):

$$G = k \cdot n \quad (19)$$

(b) Nombre de tiges à l'ha

Le nombre de tiges à l'ha N [#/ha] est obtenu en multipliant le nombre d'arbres comptés n sur la placette à rayon constant par le facteur f qui n'est autre que l'inverse de la surface λ_A [ha] de cette même placette (cf. chap. 3.2.2):

$$N = f \cdot n \quad (20)$$

Sachant que :

$$f = \frac{1}{\lambda_A} \quad (21)$$

(c) Hauteur dominante

La hauteur dominante h_{dom} [m] du peuplement peut soit être saisie manuellement si elle est connue soit déterminée en mesurant la hauteur h [m] du deuxième plus gros arbre (DHP) dans un rayon de 10 m (cf. chap. 3.2.3).

(d) Matériel sur pied à l'ha

Le matériel sur pied à l'ha V [m^3/ha] correspond à la somme du volume de bois fort V^7_i des essences i en présence :

$$V = \sum V^7_i \quad (22)$$

Pour rappel, le volume de bois fort V^7_i de l'essence i est obtenu en multipliant la surface terrière à l'ha G_i de l'essence en question par le coefficient de forme V^7/G correspondant (cf. chap. 3.2.4) :

$$V^7_i = G_i \cdot V^7/G \quad (23)$$

(e) Diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne

Le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne d_g [cm] correspond à deux fois le rayon d'un arbre de surface terrière moyenne G/N [m^2]:

$$d_g = 2 \cdot \sqrt{\frac{G/N}{\pi}} \cdot 100 \quad (24)$$

(f) Composition en essences

La proportion [%] de l'essence i correspond au rapport entre la surface terrière à l'ha G_i [m²/ha] de l'essence et la surface terrière à l'ha totale G [m²/ha].

3.3.2 Inventaire par échantillonnage

Considérons un inventaire composé de m placettes d'échantillonnages de centres ω_j ($j: 1 \dots m$) réparties dans le périmètre F . Sur chaque placette, on a relevé G et N et le matériel sur pied V a été déterminé par MOTI. Ces valeurs $y_X(\omega)$ sont les densités locales y des variables X ($X: G, N, V$) au point ω .

L'estimation de la valeur cible pour l'ensemble du périmètre inventorié, soit la densité spatiale moyenne Y de la valeur cible X dans le périmètre F , n'est autre que la moyenne des valeurs $y_X(\omega_j)$:

$$\hat{Y}_X = \frac{\sum_{j=1}^m y_X(\omega_j)}{m} \quad (25)$$

L'estimation de la surface terrière à l'ha G [m²/ha] dans le périmètre F correspond ainsi à la moyenne des surfaces terrières $y_G(\omega_j)$ mesurées sur les m placettes :

$$\hat{Y}_G = \frac{\sum_{j=1}^m y_G(\omega_j)}{m} \quad (26)$$

Idem pour le nombre de tiges à l'ha N [-/ha] :

$$\hat{Y}_N = \frac{\sum_{j=1}^m y_N(\omega_j)}{m} \quad (27)$$

et le matériel sur pied à l'ha V [m³/ha] :

$$\hat{Y}_V = \frac{\sum_{j=1}^m y_V(\omega_j)}{m} \quad (28)$$

L'erreur standard (absolue) $\hat{S}\langle\hat{Y}_X\rangle$ de l'estimation \hat{Y}_X est estimée selon la formule :

$$\hat{S}\langle\hat{Y}_X\rangle = \sqrt{\frac{s^2\langle y_X(\omega)\rangle}{m}} \quad (29)$$

$s^2\langle y_X(\omega)\rangle$ correspondant à la variance de la densité locale :

$$s^2\langle y_X(\omega)\rangle = \frac{\sum_{j=1}^m (y_X(\omega_j) - \hat{Y}_X)^2}{m-1} \quad (30)$$

Les erreurs standards absolues des densités spatiales \hat{Y}_G et \hat{Y}_N sont calculées selon les formules (29) et (30) puis, finalement, transformées en erreurs relatives :

$$\hat{S}_{\%}\langle\hat{Y}_X\rangle = \frac{\hat{S}\langle\hat{Y}_X\rangle}{\hat{Y}_X} \cdot 100 \quad (31)$$

L'erreur standard de l'estimation du matériel sur pied V n'est pas estimée par MOTI car elle pourrait induire l'utilisateur en erreur. En effet, elle ne reflèterait que la variance entre les placettes d'échantillonnage mais pas l'inexactitude causée par l'utilisation des coefficients de forme pour l'estimation de V au niveau des placettes (cf. 3.2.4) qui, elle, n'est pas quantifiable.

L'estimation du diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne d_g [cm] dans le périmètre F correspond à :

$$\hat{Y}_{d_g} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\hat{R}_{G/N}}{\pi}} \cdot 100 \quad (32)$$

$\hat{R}_{G/N}$ n'est autre que le quotient de l'estimation de la surface terrière à l'ha \hat{Y}_G (cf. formule (26)) et de celle du nombre de tiges à l'ha \hat{Y}_N (cf. formule (27)) :

$$\hat{R}_{G/N} = \frac{\hat{Y}_G}{\hat{Y}_N} \quad (9)$$

Le calcul de l'erreur standard $\hat{S}\langle\hat{Y}_{d_g}\rangle$ de l'estimation se fait en deux temps : dans un premier temps, on calcule l'erreur standard $\hat{S}\langle\hat{R}_{G/N}\rangle$ du quotient $\hat{R}_{G/N}$:

$$\hat{S}\langle\hat{R}_{G/N}\rangle = \sqrt{\frac{s^2\langle y_G(\omega) - y_N(\omega)\hat{R}_{G/N}\rangle}{m(\hat{Y}_N)^2}} \quad (33)$$

sachant que :

$$s^2\langle y_G(\omega) - y_N(\omega)\hat{R}_{G/N}\rangle = \frac{\sum_{j=1}^m (y_G(\omega_j) - y_N(\omega_j)\hat{R}_{G/N})^2}{m-1} \quad (34)$$

Puis, dans un deuxième temps, on calcule l'erreur standard absolue $\hat{S}\langle\hat{Y}_{d_g}\rangle$:

$$\hat{S}\langle\hat{Y}_{d_g}\rangle = 2 \cdot \sqrt{\frac{\hat{S}\langle\hat{R}_{G/N}\rangle}{\pi}} \cdot 100 \quad (35)$$

et enfin l'erreur standard relative correspondante :

$$\hat{S}_{\%}\langle\hat{Y}_{d_g}\rangle = \frac{\hat{S}\langle\hat{Y}_{d_g}\rangle}{\hat{Y}_{d_g}} \cdot 100 \quad (36)$$

La proportion $\hat{R}_{G_i/G}$ de chaque essence i dans le périmètre F n'est autre que le rapport de l'estimation de la surface terrière à l'ha \hat{Y}_{G_i} de l'essence i sur l'estimation de la surface terrière à l'ha totale \hat{Y}_G :

$$\hat{R}_{G_i/G} = \frac{\hat{Y}_{G_i}}{\hat{Y}_G} \quad (37)$$

La surface terrière à l'ha \hat{Y}_{G_i} de l'essence i dans le périmètre F est estimée selon la formule (25).

L'erreur standard absolue de la proportion $\hat{R}_{G_i/G}$ de l'essence i correspond à :

$$\hat{S}\langle\hat{R}_{G_i/G}\rangle = \sqrt{\frac{s^2\langle y_{G_i}(\omega) - y_G(\omega)\hat{R}_{G_i/G}\rangle}{m(\hat{Y}_G)^2}} \quad (38)$$

sachant que :

$$s^2\langle y_{G_i}(\omega) - y_G(\omega)\hat{R}_{G_i/G}\rangle = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{G_i}(\omega_j) - y_G(\omega_j)\hat{R}_{G_i/G})^2}{m-1} \quad (39)$$

L'estimation de la hauteur dominante h_{dom} reposant sur la mesure d'un seul arbre par placette d'échantillonnage, qui de plus n'est pas sélectionné selon une procédure permettant de déterminer la probabilité de sélection de chaque arbre, il ne serait pas correct d'utiliser les estimateurs (25) et (29) pour estimer la valeur de h_{dom} pour l'ensemble du périmètre F et l'erreur standard de cette estimation. Par conséquent, la valeur de h_{dom} pour le périmètre F est estimée en formant la moyenne des valeurs $h_{dom}(\omega_j)$ mesurées sur les m placettes d'échantillonnages, ce qui, numériquement, amène au même résultat que si l'estimateur (25) avait été utilisé :

$$\overline{h_{dom}} = \frac{\sum_{j=1}^m h_{dom}(\omega_j)}{m} \quad (40)$$

L'erreur standard de cette estimation n'est pas calculée par MOTI. En effet, l'estimation de la hauteur dominante repose sur l'hypothèse que la hauteur du deuxième plus gros arbre dans un rayon de 10 m correspond à la hauteur dominante du peuplement en question. Cette hypothèse entraîne une certaine incertitude qui ne serait pas prise en compte lors du calcul de l'erreur standard.

Il est important de signaler ici qu'en dessous de 10 placettes d'échantillonnage, une interprétation probabiliste des estimations, y compris celles des marges d'erreurs, serait particulièrement osée. Pour un échantillon de si petite taille, les marges d'erreur indiquées par MOTI sont à considérer comme des indications quant à l'incertitude des estimations, et non comme des certitudes. Par conséquent, elles sont à interpréter avec précaution.

3.4 Mise en pratique des inventaires par échantillonnage

Plusieurs solutions ont été élaborées pour faciliter la mise en pratique des inventaires par échantillonnage avec MOTI. Au niveau du peuplement, des recommandations sont faites à l'utilisateur quant au nombre et à la taille des placettes à prévoir et quant à leur disposition dans le peuplement. Dans le cadre des inventaires locaux, MOTI fournit une aide pour localiser des placettes permanentes dont les coordonnées géographiques sont connues (cf. chap. 4.4.2).

3.4.1 Design des inventaires de peuplements

Lorsque l'utilisateur décide de procéder à l'inventaire d'un peuplement, MOTI lui fournit une proposition quant aux design de l'inventaire (nombre et taille des placettes d'échantillonnage), mais ce uniquement dans certains cas bien définis indiqués ci-dessous. Ces recommandations se basent sur les résultats du projet « SiWaWa : Waldwachstumssimulationsmodell der neuen Generation » (Rosset et al. 2013b) réalisé par la HAFL sur mandat de l'OFEV.

Dans le cadre de ce projet, des analyses spatiales ont été effectuées pour calculer la variance entre des placettes d'échantillonnage de différentes tailles dans différents types de peuplements. Pour ce faire, on a utilisé les résultats des inventaires complets effectués sur certaines surfaces d'essais du WSL. Cette étude a permis de déterminer de manière empirique l'évolution de l'erreur standard de l'estimation de la surface terrière à l'ha G et du nombre de tiges à l'ha N en fonction du nombre de placettes d'échantillonnage, et ce pour différentes tailles de placettes à rayon constant (2, 3 et 5 ares) et à angle constant ($k = 1, 2$ et 4), ainsi que pour différents types de peuplement. Sur cette base, il est alors possible de formuler des recommandations quant au nombre et à la taille des placettes d'échantillonnage à priori nécessaires pour atteindre un certain degré de précision des estimations de G et N .

Cette étude ayant été faite dans le cadre du projet SiWaWa, elle s'est concentrée uniquement sur des peuplements purs de hêtre et d'épicéa en futaie régulière. En effet, le modèle de croissance SiWaWa n'existe que pour ces types de peuplements (en réalité, le modèle existe aussi pour les peuplements purs de frêne mais pour cause de manque de données adéquates, il n'a pas été possible d'élargir l'étude à cette essence). Ont été considérés comme purs, les peuplements dont la proportion de hêtre ou d'épicéa était supérieure à 80% de la surface terrière du peuplement. Les résultats ont été différenciés selon les stades de développements perchis (d_{dom} entre 12 et 30 cm), jeune et moyenne futaie (d_{dom} entre 31 et 50 cm) et vieille futaie ($d_{dom} > 50$ cm). Il n'a pas été possible de générer des résultats pour les perchis de feuillus étant donné le manque de données de base pour ce type de peuplement.

Sur la base des résultats de l'étude de Rosset et al. (2013b), des recommandations quant au design de l'inventaire au niveau du peuplement ont été formulées et intégrées à MOTI. L'utilisateur indique la marge d'erreur qu'il ne souhaite pas dépasser sur les estimations de N et G et MOTI lui fait une proposition quant au nombre de placettes à relever dans le peuplement en question et à leur taille (surface et facteur de comptage k). Libre ensuite à l'utilisateur d'accepter la proposition ou pas. S'il s'avère qu'après avoir relevé le nombre de placettes recommandées, la précision voulue n'a pas été atteinte, l'utilisateur peut sans autre ajouter lui-même une placette à l'inventaire et effectuer son relevé.

Une recommandation est émise uniquement dans le cas où le peuplement à inventorier a une proportion de résineux ou de feuillus (toutes essences résineuses resp. feuillues confondues) supérieure à 80% et un diamètre dominant supérieur ou égal à 12 cm pour les résineux et à 31 pour les feuillus. Si le peuplement à inventorier ne répond pas à ces conditions, alors aucune recommandation n'est émise par MOTI. Les recommandations intégrées à MOTI quant au design des inventaires de peuplement sont indiquées dans la Tab. 5. Si par exemple, on ne désire pas dépasser 15% d'erreur standard sur les estimations de G et N lors de l'inventaire d'un perchis de résineux, alors MOTI recommande de relever 3 placette circulaires de 2 ares ($r = 7.97 \text{ m}$) dans le peuplement et d'utiliser un facteur de comptage $k = 2$.

Tab. 5 : Recommandations quant au design de l'inventaire d'un peuplement. Il s'agit de recommandations quant au nombre (chiffre en gras) et à la taille des placettes d'échantillonnage (caractérisée par la surface de la placette circulaire en ares et le facteur de comptage k) en fonction du diamètre dominant d_{dom} et de la proportion de résineux (proportion de la surface terrière) du peuplement à inventorier.

d_{dom}	Erreurs standard $\hat{S}(\hat{Y}_G)$ et $\hat{S}(\hat{Y}_N)$	Proportion de résineux	
		> 80%	> 80%
12-30 cm	< 10 %	6 (3 a et k=2)	-
	< 15 %	3 (2 a et k=2)	-
	< 20 %	2 (2 a et k=2)	-
31-50 cm	< 10 %	6 (3 a et k=2)	7 (3 a et k=2)
	< 15 %	3 (3 a et k=2)	3 (3 a et k=2)
	< 20 %	2 (3 a et k=2)	2 (3 a et k=2)
> 50 cm	< 10 %	6 (3 a et k=4)	8 (5 a et k=2)
	< 15 %	3 (3 a et k=4)	5 (3 a et k=4)
	< 20 %	2 (3 a et k=4)	3 (5 a et k=4)

3.4.2 Disposition des placettes dans le peuplement

Un concept pour la disposition de placettes temporaires dans un peuplement a été développé dans le cadre du projet consacré au modèle de croissance SiWaWa (Rosset et al. 2013b) et perfectionné lors du développement de MOTI. Ce concept est le suivant (Fig. 15). Sur le terrain, l'utilisateur observe la géométrie du peuplement et le divise fictivement en autant de parties de taille plus ou moins égale qu'il prévoit de relever de placettes. Ensuite, il se déplace vers le centre de la première partie, et, pour garantir que les placettes sont disposées au hasard, il se déplace de quelques pas dans une direction quelconque. Il peut par exemple s'aider d'un dé pour choisir le nombre de pas au hasard et partir dans la direction indiquée par l'aiguille des secondes de sa montre au moment où il la regarde. Il effectue le relevé de la placette depuis le point où il se trouve et se déplace ensuite vers le centre de la deuxième partie et répète l'opération.

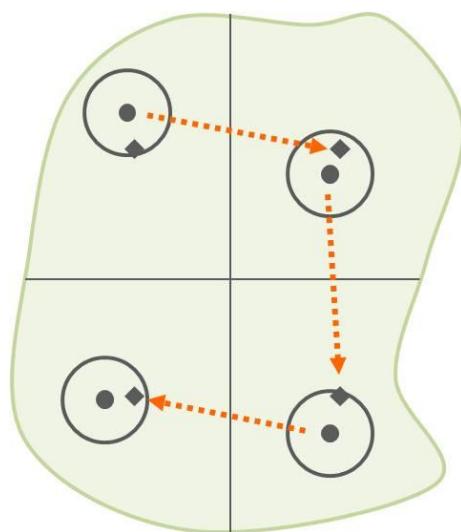


Fig. 15 : Concept pour la disposition de placettes temporaires dans un peuplement.

Lorsque le centre d'une placette se trouve dans les environs de la lisière, il est probable qu'une correction soit nécessaire lors de la mesure de la surface terrière à l'ha selon la méthode de Bitterlich et/ou la mesure du nombre de tiges à l'ha sur la placette à rayon constant. La méthode *Walk Through* (Ducey et al. 2004) permet de corriger les effets de lisière de manière particulièrement simple et efficiente, c'est une alternative très intéressante à la méthode bien connue de la réflexion. La méthode est illustrée dans la Fig. 16. Elle consiste à doubler, dans la même direction, la distance entre le centre ω de la placette et le centre de l'arbre et à contrôler si le point ainsi obtenu se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur de la forêt. S'il se trouve à l'intérieur, l'arbre est compté simplement et s'il se trouve à l'extérieur, l'arbre est compté à double.

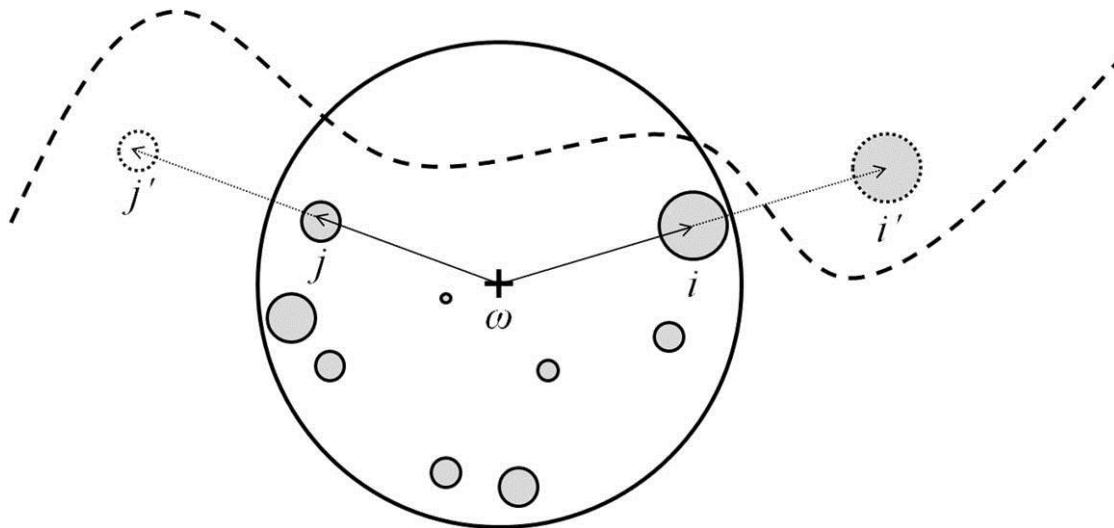


Fig. 16 : Méthode *Walk Through* pour la correction des effets de lisière.

Il est conseillé aux utilisateurs de MOTI d'utiliser cette méthode pour corriger les effets de lisière, étant donné qu'elle paraît plus simple et pratique à la mise en œuvre que la méthode de la réflexion, ne serait-ce que par le fait qu'il n'est pas nécessaire de mesurer avec précision le tracé de la lisière. Le choix d'une méthode de correction appartient toutefois à l'utilisateur qui est libre d'opter pour l'une ou l'autre des méthodes.

3.5 Calibrage

Le calibrage de son appareil permet à l'utilisateur d'obtenir des résultats de mesure plus précis. La procédure de calibrage comprend deux volets : premièrement, il s'agit de déterminer avec précision les angles qui définissent le champ de vision de l'objectif de l'appareil photo du smartphone (3.5.1). Dans un deuxième temps, il s'agit de vérifier si l'objectif de l'appareil photo vise dans un axe parfaitement perpendiculaire au plan formé par l'écran du smartphone et, si ce n'est pas le cas, de déterminer avec précision l'écart entre l'axe dans lequel vise l'objectif et l'axe perpendiculaire à l'écran (3.5.2).

Des méthodes simples ont été développées pour procéder aux deux volets du calibrage de l'appareil. D'autre part, des méthodes ont également été conçues pour contrôler la précision du calibrage effectué. Ainsi, l'utilisateur dispose de tous les outils nécessaires à l'exploitation optimale de son appareil couplé à l'application MOTI.

3.5.1 Détermination du champ de vision de l'appareil photo

Le champ de vision de l'appareil photo du smartphone, soit la portion d'espace perçue par l'objectif et reproduite à l'écran, peut être caractérisé par deux angles de champ : l'angle de champ horizontal, qui définit la largeur du champ de vision (Fig. 17), et l'angle de champ vertical, qui définit la hauteur du champ de vision.

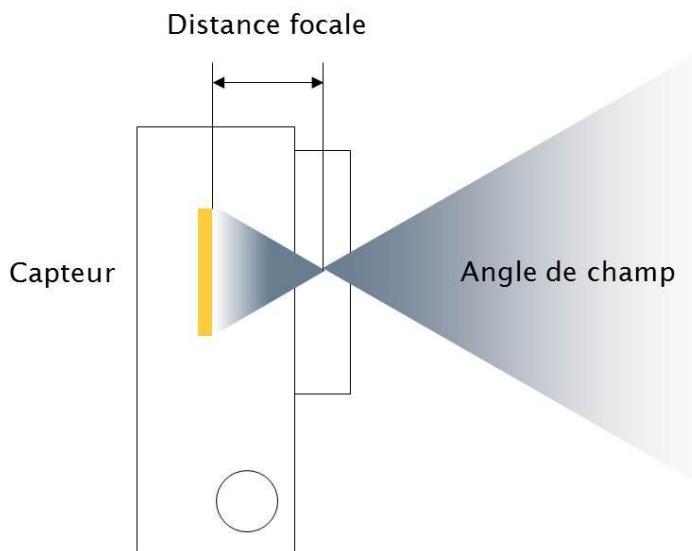


Fig. 17 : Les angles de champ. Les angles de champ définissent le champ de vision du dispositif optique, soit la portion d'espace perçue par le capteur. L'angle illustré ici est l'angle horizontal, il définit la largeur du champ de vision. L'angle de champ vertical définit quant à lui la hauteur du champ de vision. Source : <http://www.lesnumeriques.com/appareil-photo-numerique/grand-angle-tete-focale-equivalente-a930.html>, consulté le 20 janvier 2013, modifié.

Pour rappel, l'angle de champ horizontal est une constante utilisée pour calculer la largeur de l'encoche à l'écran pour le comptage des arbres lors de la mesure de la surface terrière à l'ha (chap. 3.2.1, formule (6)). Quant à l'angle de champ vertical, il est utilisé pour le calcul de la hauteur de l'encoche utilisée pour évaluer la distance au centre de la placette lors de la mesure du nombre de tiges à l'ha (chap. 3.2.2, formules (12) et (13)). Par conséquent, il est nécessaire de connaître ces deux angles avec le plus de précision possible.

Des tests internes ont révélé que, d'une part, les valeurs des angles de champ communiquées par les constructeurs de smartphone ne sont pas toujours précises et que, d'autre part, les angles de champ ne sont pas forcément identiques pour tous les niveaux de zoom. Ces observations ont été confirmées par des recherches sur internet qui ont révélés que ces problèmes avaient déjà été relevés sur différents forums. Dès lors, une méthode a été développée pour que l'utilisateur puisse lui-même déterminer précisément et simplement la valeur des deux angles de champ spécifiques à son appareil. En principe, il s'agit simplement de reporter le champ de vision de l'objectif du smartphone sur une feuille A3 puis de le mesurer.

La procédure, qui nécessite du matériel facilement disponible et standardisé, est illustrée à la Fig. 18. La photographie (Fig. 19) illustre le dispositif réel. En bref, la méthode consiste à déposer une feuille de papier A3 sur une surface plane, former un rouleau avec une seconde feuille A3 en la roulant dans le sens de la largeur, poser le rouleau sur la feuille puis le smartphone sur le rouleau, écran dirigé vers le haut (Fig. 18 (a)). Cette installation simple permet de marquer sur la feuille à l'aide d'un crayon les endroits qui correspondent aux limites du champ reproduit à l'écran en mode aperçu (Fig. 18 (b)). Etant donné que la hauteur du rouleau est connue (correspond à la largeur d'une feuille A3, soit 297 mm), il suffit de mesurer sur la feuille la hauteur et la longueur du champ reproduit à l'écran pour pouvoir déterminer les angles de champ correspondants (Fig. 18 (c)).

L'opération est répétée quatre fois, une fois pour chacun des quatre niveaux de zoom utilisés par MOTI. On notera que plus le niveau de zoom est élevé, et donc plus le champ de vision est petit, plus une imprécision au niveau du marquage ou de la mesure aura d'incidence sur le résultat des mesures. Il est par conséquent d'autant plus important d'être appliqué au moment du calibrage des niveaux de zoom élevés.

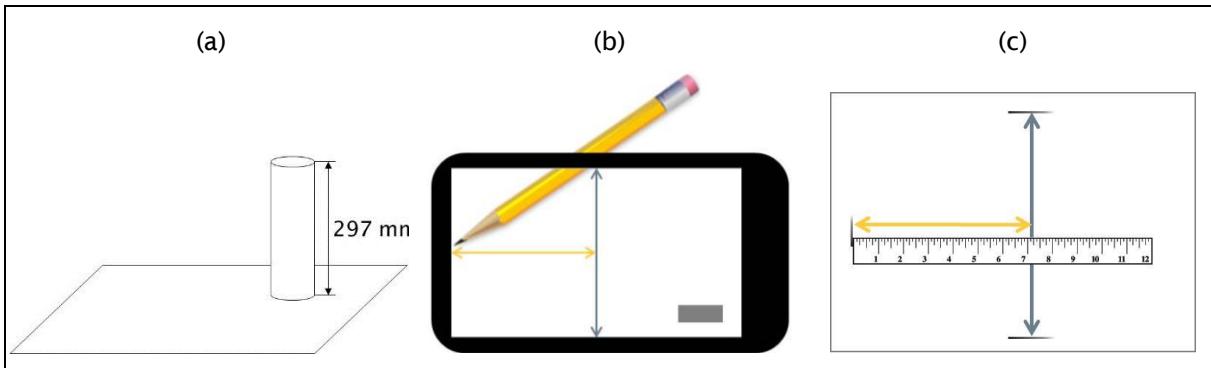


Fig. 18 : Procédure de détermination du champ de vision de l'appareil photo du smartphone. Cette étape du calibrage nécessite deux feuilles A3, un crayon, une règle graduée et un morceau de ruban adhésif.

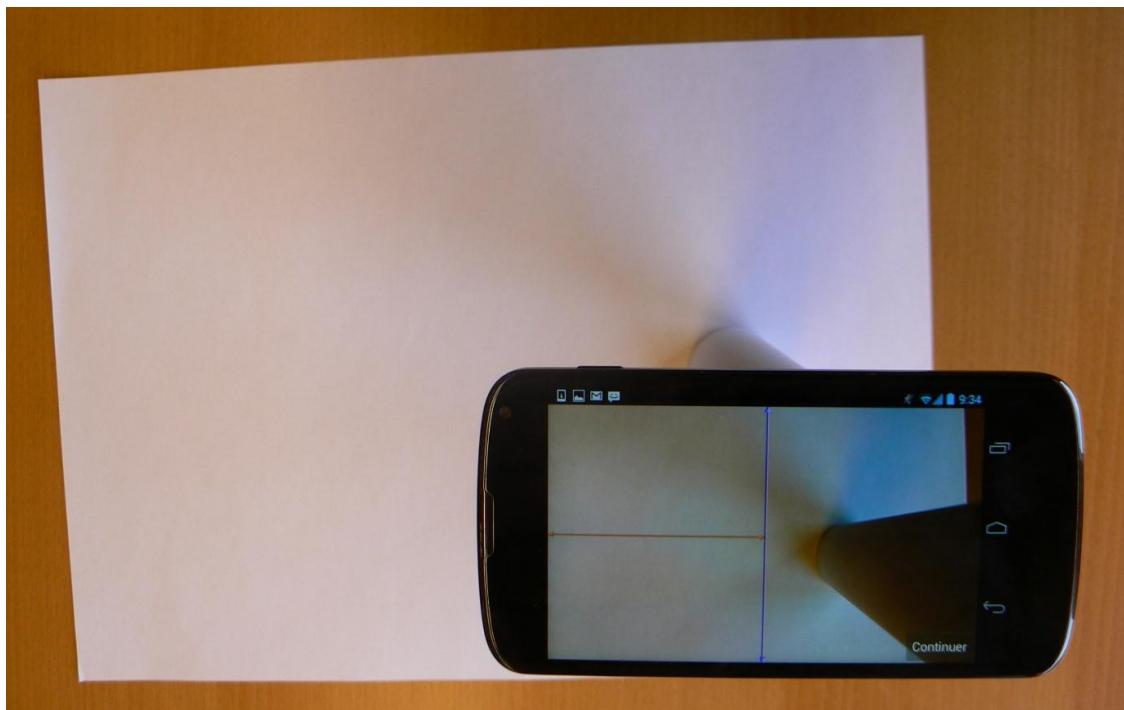


Fig. 19 : Installation qui permet de déterminer le champ de vision de l'appareil photo du smartphone. La procédure consiste à marquer sur la feuille A3 les points qui correspondent aux extrémités des flèches qui apparaissent à l'écran. Cela permet ensuite de mesurer la taille réelle du champ de vision sur la feuille (la distance qui correspond à la flèche horizontale orange doit être doublée).

La procédure de contrôle de la précision du calibrage consiste à fixer une carte de crédit aux dimensions standardisées sur une paroi verticale, démarrer une mesure de G et viser la carte de crédit de sorte à ce qu'elle se trouve exactement entre les marques triangulaires à l'écran (Fig. 20). Selon les formules (2) et (3), la distance horizontale d entre la paroi et le smartphone doit alors correspondre à :

$$d = \frac{50}{\sqrt{k}} \cdot l \quad (41)$$

Soit : $d = 2.70 \text{ m}$ avec $k = 1$, $d = 1.91 \text{ m}$ avec $k = 2$ et $d = 1.35 \text{ m}$ avec $k = 4$.

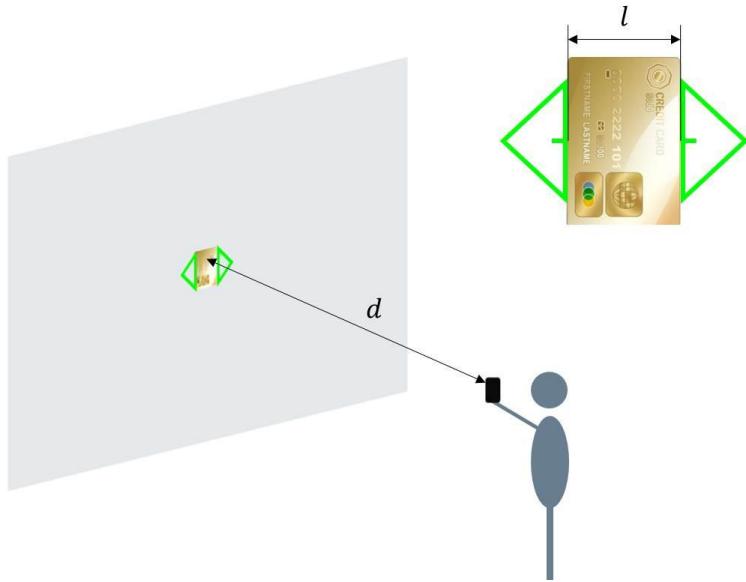


Fig. 20 : Contrôle de la précision de la détermination du champ de vision de l'appareil photo. Vérification du calibrage des angles de champ.

Effectuer ce test en plaçant la carte de crédit à différentes hauteurs permet également de vérifier la correction de la pente.

3.5.2 Détermination de l'écart de visée de l'appareil photo

Les mesures de G , N et h consistent toutes à viser des objets à l'aide de l'appareil photo du smartphone. L'inclinaison du smartphone, mesurée en temps réel par les capteurs de l'appareil, joue un rôle important lors de ces mesures, que ce soit pour la mesure de la hauteur de l'arbre selon le principe trigonométrique (chap. 3.2.3, formules (14) à (16)) ou pour la correction de certaines erreurs causées par l'inclinaison du smartphone au moment de la visée, comme par exemple dans un terrain en pente (chap. 3.2.1, formule (7) et chap. 3.2.2, Tab. 3).

Les concepts à la base de ces méthodes de mesure partent du principe que l'axe de visée de l'objectif de l'appareil photo est parfaitement perpendiculaire au plan formé par l'écran du smartphone (Fig. 21). Or, des tests effectués selon le schéma illustré à la Fig. 22 lors du développement de l'algorithme pour la mesure de la hauteur de l'arbre ont révélé une erreur systématique, à savoir un écart constant, mais différent selon l'appareil, entre les angles mesurés par les smartphones et les angles réels α_{1-4} . Ces tests ont été effectués avec un LG Nexus 4, un Huawei Ascend P1 et une tablette Panasonic Toughpad FW-A1.

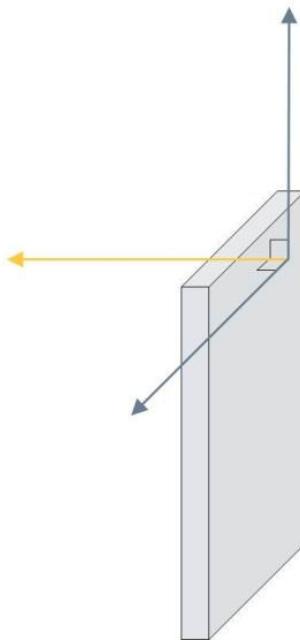


Fig. 21 : Axe de visée de l'appareil photo. L'axe de visée est censé être parfaitement perpendiculaire au plan formé par l'écran du smartphone.

Selon toute vraisemblance, ces divergences sont dues à un défaut de montage de l'appareil photo sur les smartphones avec pour conséquence un écart entre l'axe de visée de l'appareil photo et l'axe perpendiculaire à l'écran. Les tests ont été effectués en tenant les appareils en format portrait et en format paysage. Des écarts ont été constatés dans les deux cas, ce qui signifie que l'axe de visée de l'appareil photo subit un écart dans l'axe vertical et dans l'axe horizontal.

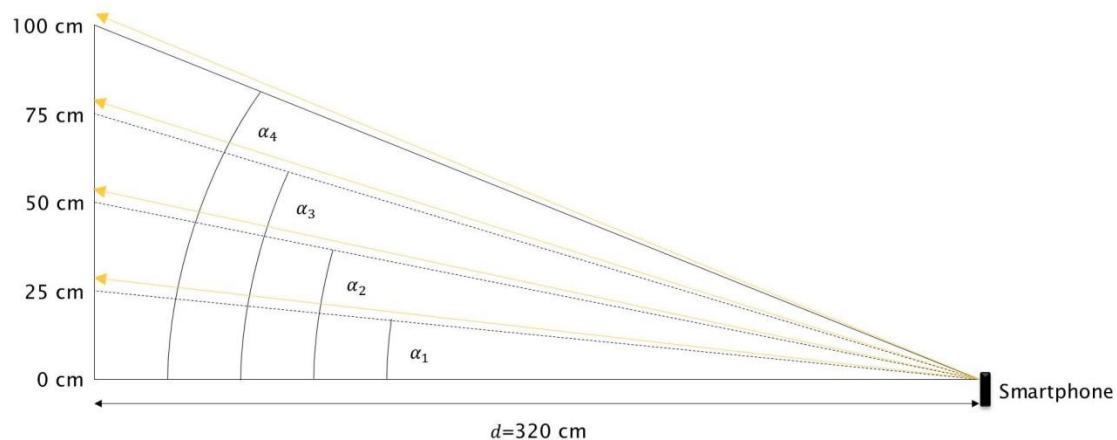


Fig. 22 : Test de la mesure de l'inclinaison du smartphone. Les tests consistaient à viser des points à des hauteurs connues (25 cm, 50 cm, etc.) depuis une distance d connue et à comparer l'inclinaison mesurée par les capteurs de l'appareil aux angles réels α_{1-4} calculés.

Ici aussi, une méthode simple a été développée pour que l'utilisateur puisse déterminer l'écart de visée propre à son appareil et corriger ainsi cette erreur systématique. Le calibrage consiste à se placer devant un miroir parfaitement vertical et à viser, en mode aperçu, le reflet du centre de la lentille du smartphone dans le miroir. S'il y a un écart de visée, alors l'utilisateur doit légèrement incliner son smartphone pour viser le centre du reflet de la lentille. L'inclinaison du smartphone, mesurée à cet instant par les capteurs de l'appareil, correspond exactement à l'inclinaison nécessaire pour viser le centre de la lentille, et donc à l'écart de visée. Cette opération est effectuée en tenant l'appareil en format portrait pour déterminer l'écart de visée dans l'axe vertical, puis en format paysage pour déterminer l'écart dans l'axe horizontal.

Une fois le calibrage effectué, les mesures d'inclinaison du smartphone effectuées durant les mesures de G (chap. 3.2.1), N (chap. 3.2.2) et h (chap. 3.2.3) sont automatiquement corrigées en fonction de l'écart de visée dans l'axe vertical, si la mesure est effectuée en format portrait, et en fonction de l'écart de visée dans l'axe horizontal si la mesure est effectuée en format paysage.

La procédure de contrôle de la précision du calibrage est illustrée à la Fig. 23. Elle consiste à effectuer une mesure de la hauteur d'un objet dont la hauteur réelle est connue et à comparer la valeur obtenue avec MOTI avec la valeur réelle. La précision du calibrage est satisfaisante si les deux valeurs correspondent au millimètre près. Lors des trois visées, il est important que le smartphone pivote autour du même axe de rotation. Idéalement, l'axe de rotation devrait se trouver au niveau de la lentille, ce n'est toutefois pas évident à réaliser. Pour un contrôle exhaustif, effectuer le test en format portrait et en format paysage.

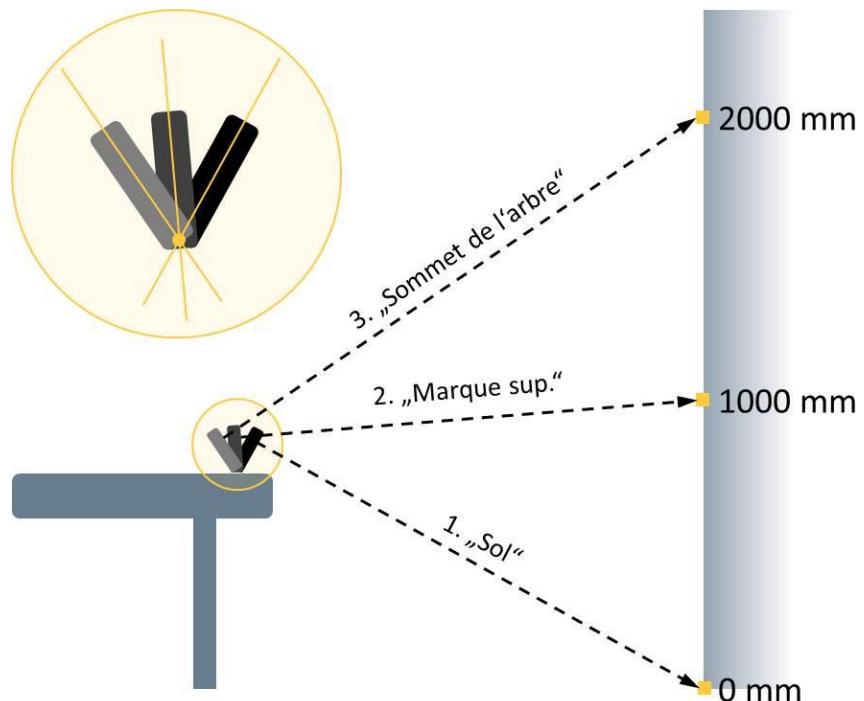


Fig. 23 : Contrôle de la précision de la détermination de l'écart de visée de l'appareil photo. La précision du calibrage effectué peut facilement être contrôlée en mesurant la hauteur d'un objet dont la hauteur réelle est connue, au millimètre près. On compare ensuite la valeur obtenue avec MOTI à la valeur réelle.

4 Solution IT

Ce chapitre a pour but de présenter la manière dont les concepts métiers exposés au chap. 3 ont concrètement été mis en œuvre dans l'application Android pour smartphone MOTI. Le chap. 4.1 donne une vue d'ensemble de l'application, le chap. 4.2 présente les interfaces pour la mesure de G , N , h et l'estimation de V , le chap. 4.3 expose la solution mise en place pour le relevé et la gestion des mesures combinées sur des placettes et le chap. 4.4 pour la réalisation d'inventaires par échantillonnage. Le chap. 4.5 revient sur les menus Aide et Configuration et le chap. 4.6 sur les autres fonctions telles que la synchronisation avec un serveur et le calibrage.

4.1 Vue d'ensemble de l'application

L'écran de démarrage de MOTI est subdivisé en deux parties principales qui permettent d'accéder aux différents modes d'utilisation (Fig. 24). La partie « Instruments de mesure » donne l'accès direct aux interfaces pour les mesures uniques de G , N , h et pour l'estimation de V (chap. 4.2). Quant à la partie « Inventaires », elle permet d'accéder aux mesures combinées sur des placettes indépendantes (« Placettes », chap. 4.3) ainsi qu'aux inventaires par échantillonnage (« Inventaires de peuplement » et « Inventaires locaux », chap. 4.4).

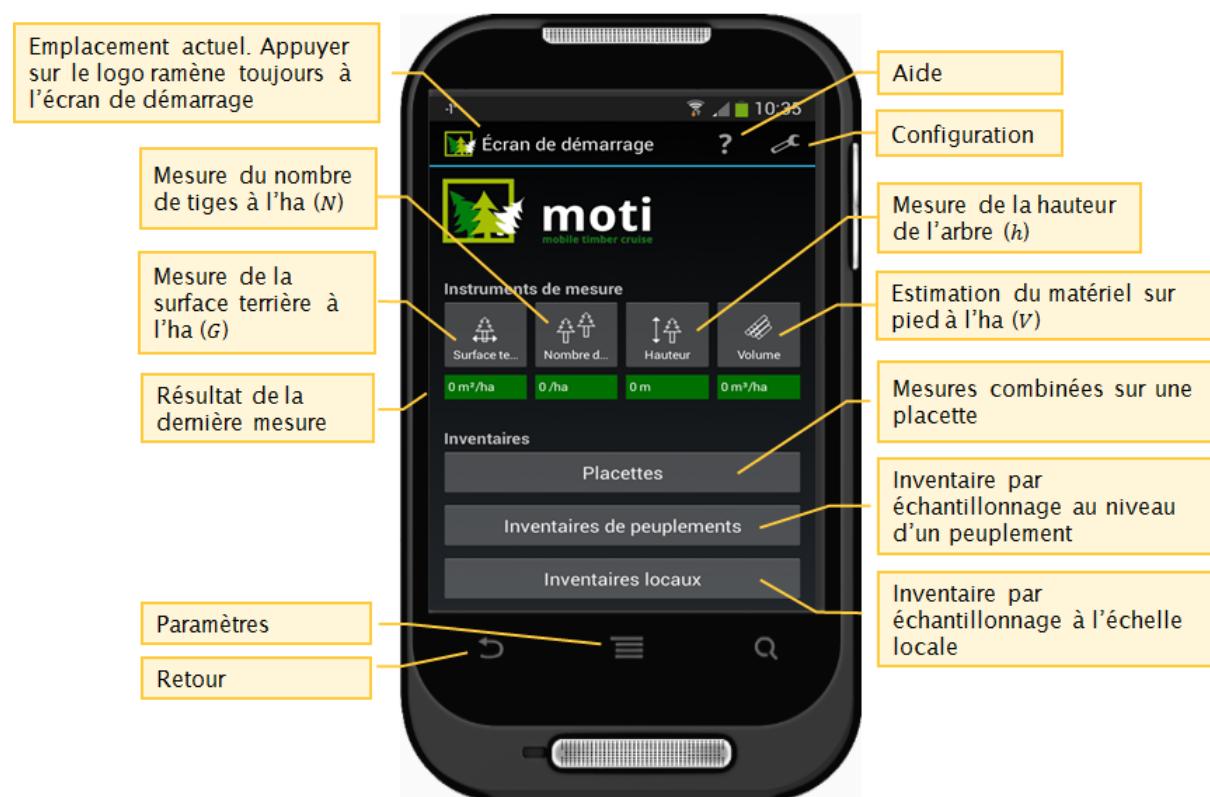


Fig. 24 : Écran de démarrage de MOTI. L'écran de démarrage est subdivisé en deux parties : les instruments de mesure, pour les mesures uniques de G , N , h ou l'estimation de V , et les inventaires, qui permettent de combiner les mesures sur un placette et d'effectuer des inventaires par échantillonnage au niveau du peuplement ou à l'échelle locale.

Les menus Aide et Configuration (chap. 4.5) sont accessibles depuis tous les écrans de l'application en pesant sur les icônes correspondantes (point d'interrogation pour l'aide et clé anglaise pour le menu Configuration). Les fonctionnalités de calibrage, d'envoi d'un feedback, de synchronisation des données ainsi que les mentions légales de l'application sont accessibles via la touche Paramètres du smartphone (chap. 4.6).

4.2 Mesures uniques

Les résultats des mesures uniques (cf. chap. 3.1.1) de la surface terrière à l'ha (chap. 4.2.1), du nombre de tiges l'ha (chap. 4.2.2), de la hauteur d'un arbre (chap. 4.2.3) et de l'estimation unique du matériel sur pied à l'ha (chap. 4.2.4) ne sont sauvegardés que temporairement : ils restent affichés sur l'écran de démarrage tant que de nouvelles mesures ne sont pas effectuées et que l'utilisateur ne quitte pas l'application. Dès lors, ils sont définitivement effacés. Si l'utilisateur appuie sur la touche Retour du smartphone en cours de mesure, les résultats seront également perdus, un message l'en avertit.

4.2.1 Mesure de la surface terrière à l'ha

Après avoir choisi l'instrument de mesure « Surface terrière » sur l'écran de démarrage (Fig. 24), l'utilisateur accède à l'interface de mesure illustrée à la Fig. 25. Le cœur de l'interface est le viseur qui sert de référence au comptage des arbres et qui a déjà été présenté au chap. 3.2.1.

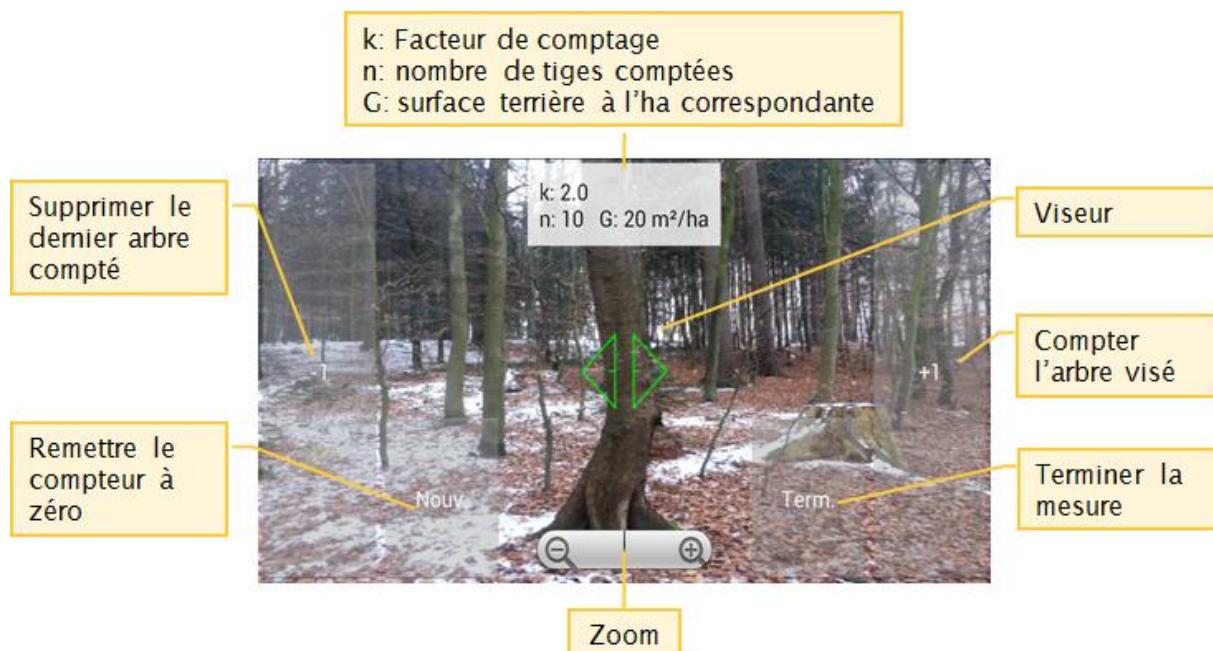


Fig. 25 : Interface de la mesure de la surface terrière à l'ha, sans distinction des essences.

4.2.2 Mesure du nombre de tiges à l'ha

L'interface de la mesure de N (Fig. 26) a été conçue selon le même principe que celle de la mesure de G (Fig. 25). Le viseur évoqué au chap. 3.2.2 occupe l'espace central et les différentes touches la périphérie de l'écran.

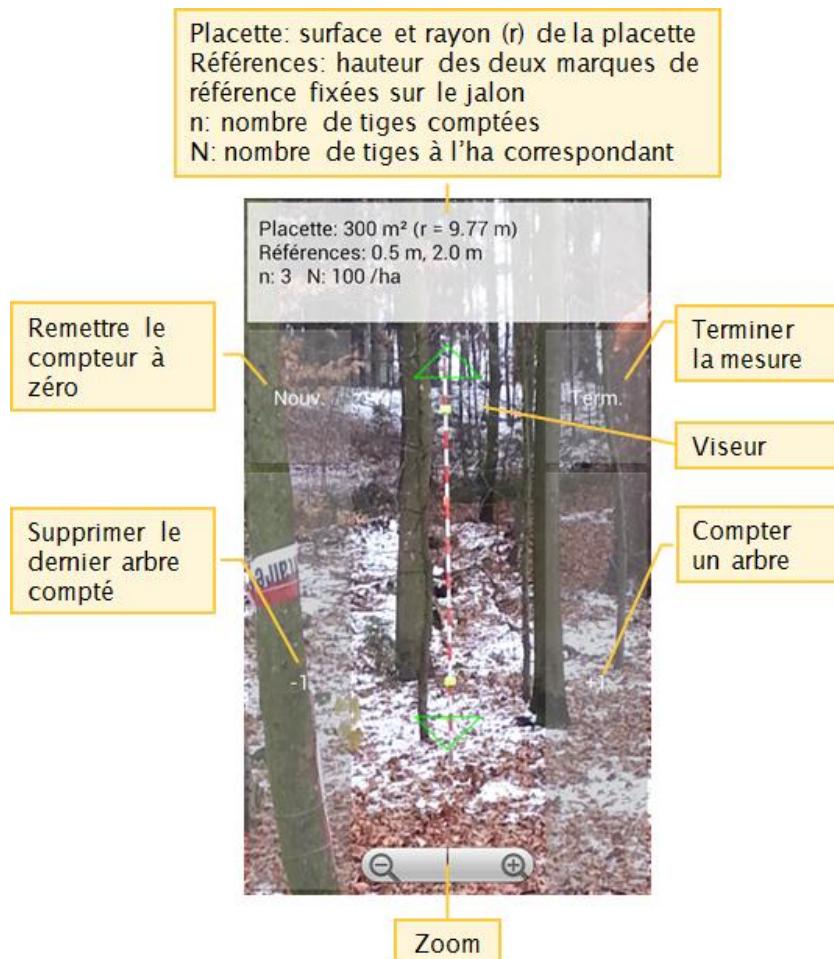


Fig. 26 : Interface de la mesure du nombre de tiges à l'ha.

4.2.3 Mesure de la hauteur de l'arbre

Dans l'interface de la mesure de h , le viseur prend la forme d'une ligne horizontale qu'il s'agit d'aligner précisément avec le point visé, soit le pied de l'arbre, la marque de référence fixée sur le jalons et finalement le sommet de l'arbre (chap. 3.2.3). La touche de déclenchement de la visée indique toujours quel est le prochain point à viser.

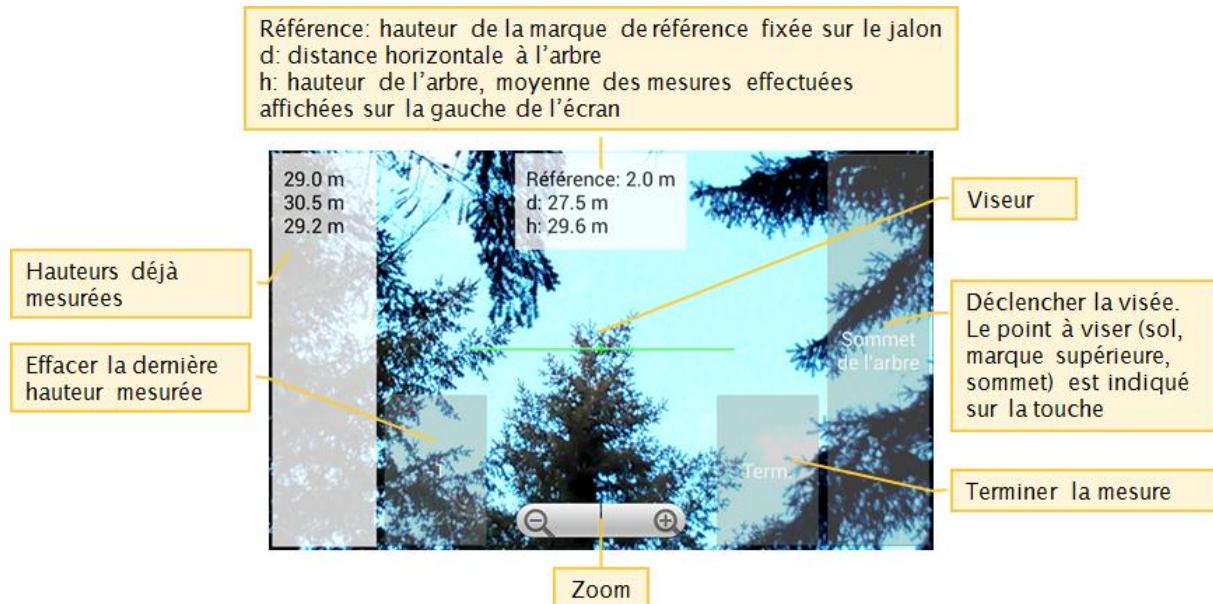


Fig. 27 : Interface de la mesure de la hauteur de l'arbre.

Afin d'obtenir des résultats de mesure précis, il est vivement conseillé d'effectuer plusieurs mesures de la hauteur de l'arbre et de considérer leur moyenne comme résultat final. Les différentes hauteurs mesurées sont affichées sur la gauche de l'écran. La hauteur h indiquée dans le champ du milieu correspond à la moyenne des mesures effectuées et est considérée comme le résultat final. Dès qu'une nouvelle mesure est effectuée, la moyenne est immédiatement actualisée de même que la distance horizontale entre le smartphone et l'arbre.

4.2.4 Estimation du matériel sur pied à l'ha

Comme cela a été expliqué au chap. 3.2.4, le matériel sur pied à l'ha n'est pas mesuré directement mais estimé sur la base de la surface terrière à l'ha mesurée et de la hauteur dominante qui peut soit être mesurée à l'aide de MOTI, soit saisie manuellement. Ainsi, l'interface de l'estimation du matériel sur pied (Fig. 28) comprend un accès direct aux mesures de G et h , ainsi qu'un espace pour la présentation des résultats.

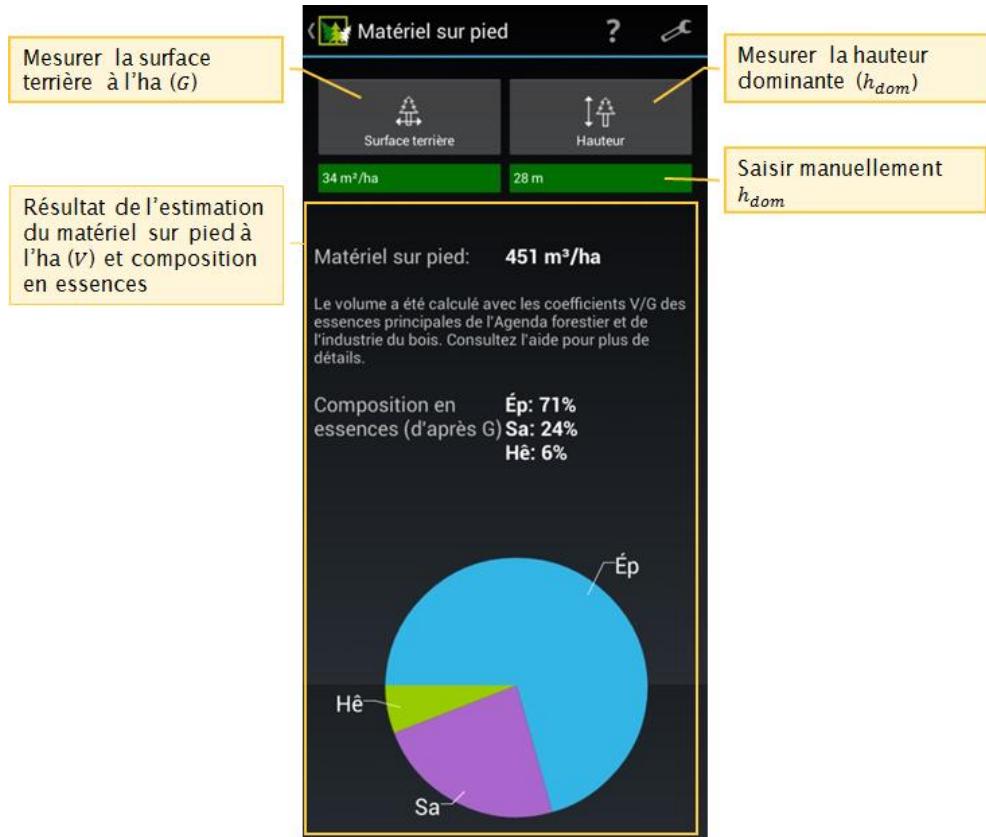


Fig. 28 : Interface de l'estimation du matériel sur pied à l'ha. L'interface comprend l'accès aux mesures de la surface terrière à l'ha et de la hauteur dominante indispensables à l'estimation du matériel sur pied ainsi qu'un espace pour la présentation des résultats de l'estimation.

L'estimation du matériel sur pied dépend des essences en présences (chap. 3.2.4). Ainsi, il est nécessaire de différencier les essences lors de la mesure de la surface terrière. Pour ce faire, l'interface de la mesure de G a été complétée avec dix touches qui permettent de différencier les principales essences répertoriées en Suisse (Fig. 29). Une fois la surface terrière et la hauteur dominante renseignées, le matériel sur pied à l'ha est directement estimé, à l'instar de la composition en essences (en fonction de G) illustrée par un camembert.



Fig. 29 : Interface de la mesure de la surface terrière à l'ha, avec distinction des essences.

4.3 Mesures combinées

Contrairement aux résultats des mesures uniques, les résultats des mesures effectuées de manière combinées (cf. chap. 3.1.2) sont sauvegardés par MOTI. Les résultats sont regroupés au niveau de placettes qui sont disponibles sous forme de liste (chap. 4.3.1). Chaque placette dispose de trois interfaces, ou onglets : la première pour la collecte des données (chap. 4.3.2), la deuxième pour la présentation des résultats (chap. 4.3.3) et la troisième pour la simulation effectuée par SiWaWa (chap. 4.3.4), pour autant que l'extension aie été activée par l'utilisateur.

4.3.1 Gestion des placettes

Lorsque l'utilisateur opte pour la touche Placettes sur l'écran de démarrage (Fig. 24), il accède à la liste qui regroupe toutes les placettes sauvegardées par l'application (Fig. 30). Depuis cette liste, il peut accéder aux placettes existantes, les éditer, les supprimer, tout comme il peut créer de nouvelles placettes vierges. Dès que l'utilisateur ajoute une nouvelle placette, il accède directement à l'onglet « Collecte des données » (chap. 4.3.2) de la placette en question qui est dès lors sauvegardée dans la liste. Les placettes peuvent être triées selon leur nom ou la date de leur création, cette option est accessible par la touche Paramètres du smartphone.



Fig. 30 : Interface de gestion des placettes. Il est possible d'ajouter de nouvelles placettes vierges à la liste ainsi que de supprimer, éditer ou consulter les placettes existantes.

4.3.2 Onglet « Collecte des données »

C'est dans l'onglet « Collecte des données » que l'utilisateur est invité à renseigner diverses informations sur la placette, comme son nom, ses coordonnées géographiques, la structure du peuplement dans lequel elle se trouve, et à effectuer les mesures de *G*, *N* et *h* (Fig. 31).

Les coordonnées géographiques sont déterminées par le GPS du smartphone. Si ce dernier n'est pas activé, un message le signale à l'utilisateur et l'incite à l'activer en ouvrant automatiquement les paramètres de l'appareil. La localisation GPS de l'emplacement est déclenchée dès que l'utilisateur pèse sur la flèche verte située à côté de l'emplacement des coordonnées X et Y à l'écran (Fig. 31). MOTI sauvegarde alors les coordonnées les plus précises disponibles, la précision de la position déterminée est indiquée en mètres à côté des coordonnées. L'application continue à chercher une position plus précise, jusqu'à ce que l'utilisateur interrompe la recherche en pesant à nouveau sur la flèche.



Fig. 31 : Onglet « Collecte des données » d'une placette. Il comprend l'identification et la localisation de la placette, la description du peuplement environnant ainsi que l'accès direct aux mesures de G , N et h .

Lors du relevé de placettes, l'utilisateur est libre de différencier ou pas les essences lors de la mesure de G . Il suffit d'indiquer sa préférence dans le menu Configuration. S'il choisit de ne pas différencier les essences, alors l'estimation du matériel sur pied est impossible. La description du peuplement dans lequel se trouve la placette est facilitée par des menus déroulants qui s'affichent dès que l'utilisateur pèse sur l'écran à l'endroit prévu.

4.3.3 Onglet « Résultats »

L'onglet « Résultats » présente les résultats de la collecte des données, soit le nom et la position de la placette, la description du peuplement ainsi que les résultats des mesures de G , N , h et pour autant que l'utilisateur ait choisi de différencier les essences lors de la mesure de G , de l'estimation de V . À partir des résultats des mesures, MOTI détermine également le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne d_g ainsi que la composition en essences sur la base de G , et sous réserve que les essences aient été distinguées. Pour rappel, la manière dont ces résultats sont générés au niveau de la placette est expliquée au chap. 3.3.1.



Fig. 32 : Onglet « Résultats » d'une placette. Toutes les informations récoltées et générées sur la placette en question sont disponibles ici.

4.3.4 Onglet « SiWaWa »

Sous réserve que l'extension SiWaWa soit activée, et que la placette réponde aux exigences du modèle quant à la structure du peuplement, à son degré de mélange et à son essence principale, l'évolution de la placette dans les 30 prochaines années est simulée par le modèle de croissance. Les résultats de cette simulation sont présentés dans l'onglet « SiWaWa ». Comme cela a été évoqué au chap.3.1.4, les simulations effectuées sont les suivantes :

- évolution de la répartition des tiges par classe de DHP (Fig. 33),
- évolution de la surface terrière par rapport à la surface terrière maximale et à la surface terrière recommandée (Fig. 34),
- évolution du matériel sur pied (Fig. 35),
- évolution de la mortalité due à la concurrence (exprimée selon G et V , Fig. 34 et Fig. 35),
- calcul de l'indice de fertilité de la station (« Fert ») ainsi que l'âge du peuplement, le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne d_g , le diamètre dominant d_{dom} , la hauteur dominante h_{dom} , la surface terrière G , le nombre de tiges N , le matériel sur pied V et l'accroissement pour chaque année de simulation.

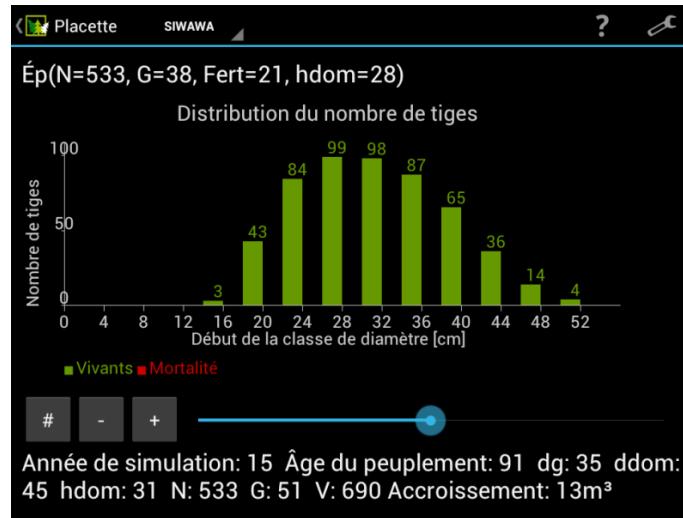


Fig. 33 : Exemple de simulation de la répartition des tiges par classe de DHP sur une placette. La distribution représentée correspond à l'état dans 15 ans.

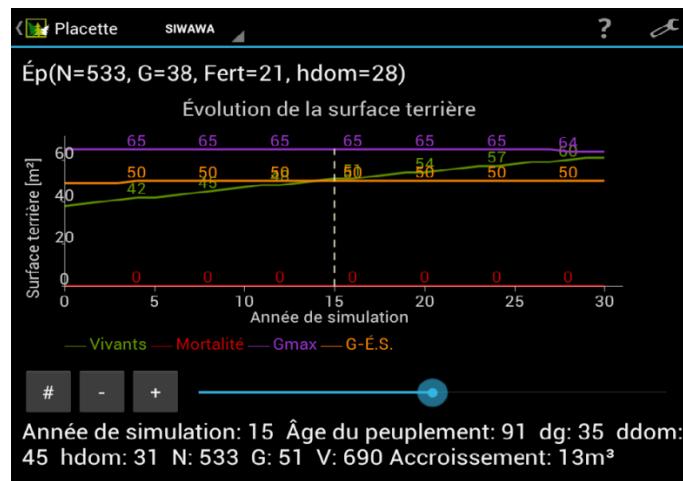


Fig. 34 : Exemple de simulation de l'évolution de la surface terrière sur une placette dans les 30 prochaines années.

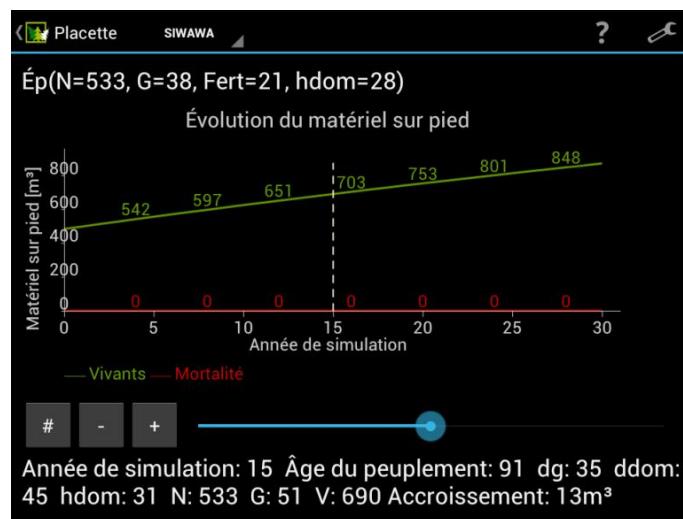


Fig. 35 : Exemple de simulation de l'évolution du matériel sur pied sur une placette dans les 30 prochaines années.

4.4 Inventaires par échantillonnage

MOTI propose deux types d'inventaires par échantillonnage (cf. chap. 3.1.3). L'inventaires au niveau du peuplement (4.4.1) se base sur des placettes temporaires disposées de manière aléatoire et l'inventaire à l'échelle locale (4.4.2) qui a été conçu pour le relevé de placettes permanentes disposées selon une grille.

4.4.1 Inventaires de peuplements

Les inventaires sont organisés dans une liste (Fig. 36) similaire à celle des placettes (Fig. 30). La liste des inventaires aussi peut être triée selon le nom ou la date de création de l'inventaire.

Ajouter un inventaire de peuplement	
<input type="checkbox"/> Stand 1	(30/11/2013 - 14:13)
Nombre de placettes: 3	
<input type="checkbox"/> Stand 2	(30/11/2013 - 14:03)
Nombre de placettes: 3	
<input type="checkbox"/> Stand 3	(30/11/2013 - 9:42)
Nombre de placettes: 6	

Fig. 36 : Interface de gestion des inventaires de peuplement.

Après avoir créé un nouvel inventaire, l'utilisateur est invité à lui donner un nom, localiser le peuplement à l'aide du GPS et à décrire le peuplement (Fig. 37).

Gestion des placettes Résultats de l'inventaire Simulation de l'évolution du peuplement

Identification du peuplement:

ID peuplement	Peuplement 3			
Date	30/11/2013 - 9:42			
Y:	46.935	X:	7.469	3m

Description de base:

Structure du peupl...	Futaie irrégulière
Diamètre dominant	65
Proportion de rési...	90%
Degré de recouvre...	80%

Design de l'inventaire:

Facteur de compt...	2
Superficie [m ²]	300

Fig. 37 : Onglet « Description » d'un inventaire de peuplement.

L'utilisateur doit ensuite définir le design de l'inventaire, soit combien de placettes relever, de quelle surface et avec quel facteur de comptage. Pour ce faire, deux options s'offrent à lui : premièrement, il peut décider lui-même du facteur de comptage et de la taille des placettes et relever des placettes une à une jusqu'à ce qu'il soit satisfait de la précision des résultats obtenus. Ou alors, il demande à MOTI de générer une proposition automatique de design d'inventaire (Fig. 38). Pour rappel, le modèle selon lequel les propositions sont générées est présenté dans les grandes lignes au chap. 3.4.

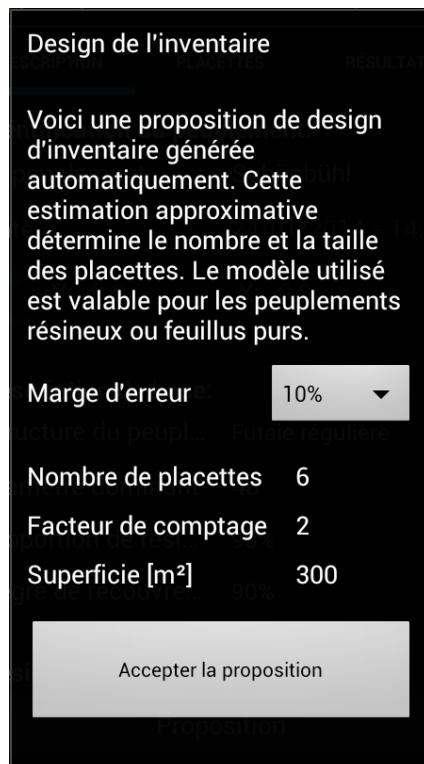


Fig. 38: Proposition de design d'inventaire générée automatiquement.

La proposition de design est générée en fonction de la structure, du degré de mélange et du diamètre dominant du peuplement et en fonction de la précision que l'utilisateur souhaite atteindre. La précision des résultats est concrétisée par l'erreur standard relative des mesures de G et N (p. ex. max. $\pm 10\%$ sur les deux mesures). L'utilisateur est libre d'accepter ou pas la proposition qui lui est faite. S'il l'accepte, alors l'application reprend automatiquement la superficie de placette et le facteur de comptage proposés et génère une liste de placettes vides qui correspondent au nombre de placettes proposées (la liste se trouve sous l'onglet « Placettes », Fig. 37). Si, après avoir relevé les placettes, l'utilisateur remarque que la précision souhaitée n'a pas été atteinte ou qu'il désire tout compte fait obtenir des valeurs encore plus précises, il peut ajouter manuellement des placettes supplémentaires à la liste. Si l'utilisateur refuse la proposition, alors il doit saisir manuellement la surface de placette et le facteur de comptage qu'il souhaite utiliser et créer une à une les placettes dans la liste.

Les résultats de l'inventaire sont disponibles sous l'ongle « Résultats » (Fig. 37) et sont actualisés après le relevé de chaque placette supplémentaire. La présentation des résultats au niveau des inventaires par échantillonnage est très similaire à celle des résultats d'une seule placette (Fig. 32), à part que l'erreur standard des différentes estimations est indiquée (cf. chap. 3.3.2), ce qui permet à l'utilisateur d'évaluer en continu la précision des résultats.

Pour autant que l'extension SiWaWa soit activée, et que le peuplement réponde aux exigences du modèle quant à sa structure, son degré de mélange et son essence principale, l'évolution du peuplement dans les 30 prochaines années est simulée par le modèle de croissance. Les résultats de la simulation, qui sont similaires aux résultats de la simulation au niveau d'un placette (cf. Fig. 33 à Fig. 35), sont disponibles sous l'ongle « SiWaWa ».

4.4.2 Inventaires locaux

Ce mode d'utilisation a été conçu pour que MOTI puisse être utilisé dans le cadre d'inventaires permanents. La solution développée pour les inventaires locaux est très similaire à celle développée pour les inventaires de peuplements (4.4.1), on constate toutefois trois différences majeures. Premièrement, l'application de fournit pas de proposition de design d'inventaire dans le cadre des inventaires locaux étant donné que le modèle utilisé n'est valable que pour des peuplements. Deuxièmement, un assistant de navigation aide l'utilisateur à localiser p. ex. le centre d'une placette permanente sur une grille prédéfinie. Il lui suffit de saisir les coordonnées de la placette dans l'application pour que cette dernière lui indique quelle distance parcourir et dans quelle direction pour atteindre l'endroit voulu (Fig. 39).



Fig. 39 : Assistant de navigation pour la localisation de placettes permanentes.

Troisièmement, les simulations SiWaWa sont possibles uniquement pour les différentes placettes qui font partie de l'inventaire, mais pas pour le périmètre d'inventaire entier. SiWaWa est en effet un simulateur de croissance à l'échelle du peuplement.

4.5 Menus Aide et Configuration

L'aide est accessible via l'icône en forme de point d'interrogation au sommet à droite de l'écran. Ce lien renvoie au site internet www.moti.ch qui héberge l'aide disponible en français, allemand, italien et anglais.

C'est dans le menu Configuration que l'utilisateur peut fixer les paramètres variables relatifs aux instruments de mesure, à la localisation par GPS et à SiWaWa (Tab. 6).

Tab. 6 : Contenu du menu Calibration.

Instruments de mesure	
Facteur de comptage	Facteur k pour la mesure de la surface terrière, de 1 à 10 inclus.
Superficie de la placette à rayon constant	Superficie de la placette à rayon constant pour la mesure du nombre de tiges, de 1 à 1000 m^2 inclus.
Marque inférieure [m du sol]	Hauteur au dessus du sol de la marque de référence inférieure fixée sur le jalon pour la mesure du nombre de tiges, de 0 à 5 m inclus.
Marque supérieure [m du sol]	Hauteur au dessus du sol de la marque de référence supérieure fixée sur le jalon pour la mesure du nombre de tiges et de la hauteur de l'arbre, de 0 à 5 m inclus.

Placettes	
Essences	Mesure de la surface terrière différenciée selon les essences ou pas.
Coordonnées GPS	
Mode d'affichage	Affichage selon le système de coordonnées géodésique mondial WGS 84 ou les coordonnées nationales suisses MN95.
SiWaWa	
Utiliser SiWaWa	Activation du modèle de croissance forestière SiWaWa.
Indice de fertilité	Indice de fertilité par défaut utilisé par SiWaWa pour la simulation si la hauteur dominante n'a pas été mesurée.
Calcul du volume sur pied	Choix d'un tarif de cubage spécifique pour le calcul du volume. Par défaut, le tarif utilisé est celui de SiWaWa. Les cantons partenaires ont accès à leurs propres tarifs de cubage.

4.6 Autres fonctions (synchronisation, calibrage, etc.)

La touche Paramètres du smartphone permet d'accéder à des fonctions et informations supplémentaires, comme p. ex. les mentions légales relatives à l'application. La fonction « Rédiger un feedback » permet d'envoyer directement un e-mail aux développeurs de MOTI pour leur poser une question, leur signaler un problème ou leur proposer une amélioration par exemple.

Une fonction de synchronisation des données a été intégrée à MOTI. L'interface « Synchroniser » (Fig. 40) permet (1) d'exporter les données récoltées avec le smartphone sur un serveur Web géré par la BFH et (2) de télécharger des données préalablement sauvegardées sur le serveur sur le smartphone. L'export des données sur le serveur offre la garantie que les données ne seront pas perdues en cas de perte ou d'endommagement du smartphone. Une fois sur le serveur, les données sont accessibles via un navigateur web et peuvent être exportée sous formats .xls, .pdf et .csv. Ainsi, elles peuvent facilement être consultées, imprimées, transmises ou encore groupées et manipulées. Les données sauvegardées sur le serveur peuvent être récupérées sur un smartphone ultérieurement. Si par exemple l'utilisateur se rend dans un peuplement dans lequel il a effectué un inventaire à l'aide de MOTI quelques années auparavant, il peut charger les données sur son smartphone ce qui lui permettra de comparer l'état actuel avec l'état antérieur du peuplement lors de sa visite sur le terrain.

La fonction de synchronisation des données et en cours de consolidation. S'agissant d'une extension et non d'une partie intégrante de l'application, elle n'est pas présentée en détail dans le présent rapport.

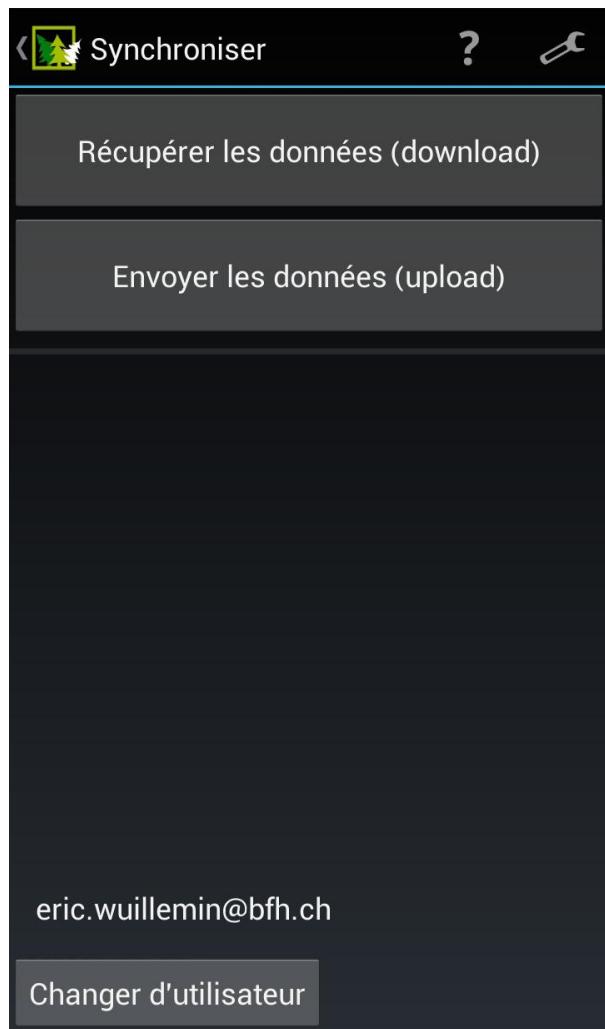


Fig. 40 : Interface de synchronisation des données.

Lors du premier démarrage de l'application MOTI, un assistant intégré guide l'utilisateur à travers les étapes du calibrage de son smartphone. Ce calibrage est indispensable à un fonctionnement optimal des instruments de mesure et permet d'obtenir des résultats plus précis. Le calibrage peut à tout moment être réalisé une nouvelle fois, l'assistant est accessible via la touche Paramètres du smartphone.

1)  Calibrage

Votre appareil ne doit être calibré qu'une seule fois. Le calibrage prend environ 15 minutes.

Pour l'effectuer, vous aurez besoin du matériel suivant:

- un miroir parfaitement vertical
- 2 feuilles de papier A3 ou 3 feuilles A4
- une règle graduée
- un crayon ou stylo
- du ruban adhésif

Avez-vous tout le matériel?

Alors commençons!

Continuer

2)  Calibrage: orientation de la caméra

Commençons par la correction de l'orientation de la caméra. Premièrement, bien identifier la lentille de la caméra de votre Smartphone. Attention à ne pas la confondre avec le flash!



Placez-vous devant votre miroir et débutez le calibrage en suivant les étapes:

1. Après avoir lancé le calibrage, placez la croix au centre du reflet de la lentille de la caméra. La distance n'ayant aucune importance, approchez-vous au maximum pour être le plus précis possible. Attention à ne pas pencher l'appareil vers la gauche ou la droite et restez le plus stable possible, puis appuyez sur "Calibrer".
2. Tournez l'appareil à 90° et répétez l'opération.
3. Après avoir calibré en format portrait et paysage, appuyez sur "Continuer".

Commencer le calibrage

3a)

Visez avec la croix le centre du reflet de la lentille de la caméra. Le calibrage peut être recommandé, par exemple si vous avez bougé lors de la première tentative.



3b)

Visez avec la croix le centre du reflet de la lentille de la caméra. Le calibrage peut être recommandé, par exemple si vous avez bougé lors de la première tentative.



4a)

Calibrage: angle d'ouverture

Le calibrage de l'orientation de la caméra étant terminé, il s'agit maintenant de déterminer l'angle d'ouverture de la caméra pour chaque niveau de zoom.

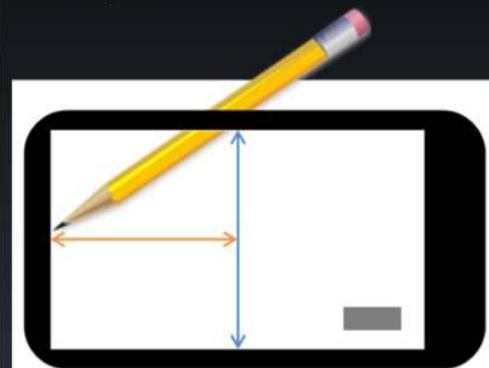
1. Avec l'une des feuilles et du ruban adhésif, construisez un cylindre de 29,7 cm de haut. Posez l'autre feuille A3 à plat sur une table et placez le cylindre dessus verticalement.



2. Posez votre Smartphone sur le cylindre, écran vers le haut et de façon à voir l'intégralité de la feuille.

4b)

3. Après avoir démarré le calibrage, marquez sur la feuille A3 les quatre points désignés par les flèches afin de pouvoir mesurer les deux longueurs (horizontale et verticale). Indiquez de quel niveau de zoom il s'agit près des marques.



4. Lorsque vous avez marqué les quatre points, appuyez sur "Continuer".

5. Répétez cette opération quatre fois, pour chaque niveau de zoom.

Commencer le calibrage

5)

Continuer

6a) Calibrage: angle d'ouverture

Mesurez, pour chaque niveau de zoom, la distance entre les deux points "horizontaux" et les deux points "verticaux" (en centimètres).

Saisissez les valeurs avec une décimale après la virgule:

6b)

Sans zoom:	Largeur [cm]:	<input type="text" value="Largeur [cm]"/>
	Hauteur [cm]:	<input type="text" value="Hauteur [cm]"/>
Premier niveau de zoom:	Largeur [cm]:	<input type="text" value="Largeur [cm]"/>
	Hauteur [cm]:	<input type="text" value="Hauteur [cm]"/>
Second niveau de zoom:	Largeur [cm]:	<input type="text" value="Largeur [cm]"/>
	Hauteur [cm]:	<input type="text" value="Hauteur [cm]"/>
Niveau de zoom maximum:	Largeur [cm]:	<input type="text" value="Largeur [cm]"/>
	Hauteur [cm]:	<input type="text" value="Hauteur [cm]"/>

Calibrage

Fig. 41 : Assistant calibrage. L'assistant intégré guide l'utilisateur à travers les étapes du calibrage.

5 Tests

Trois sortes de tests ont été effectuées dans le cadre du développement de l'application MOTI : des tests de précision des mesures de G , N et h (chap. 5.1), des tests comparatifs MOTI vs. relascope de Bitterlich (chap. 5.2) ainsi que des tests d'utilisation de l'ensemble de l'application (chap. 5.3). L'expérience accumulée dans le cadre des tests ainsi que leurs résultats ont permis d'émettre certaines recommandations quant à l'utilisation de MOTI, ces recommandations sont formulées dans le chapitre 5.4.

5.1 Tests de précision des mesures

5.1.1 Mesure de la surface terrière à l'ha (G)

5.1.1.1 Méthode

Les tests de la mesure de la surface terrière à l'ha ont consisté à vérifier que lorsqu'un arbre de DHP d_i visé à 1.30 m du sol se trouve exactement sur son rayon critique r_i , les deux marques triangulaires soient parfaitement alignées aux deux côtés du tronc à l'écran.

Pour ce faire, huit arbres de DHP 9, 16, 30, 37, 43, 51, 60 et 72 cm ont été sélectionnés sur un terrain plat et cinq 8, 14, 26, 34 et 46 cm dans un terrain avec une pente de 20 %. Les DHP ont été mesurés au cm près à l'aide d'un compas forestier. Puis, le rayon critique r_i correspondant à chaque DHP d_i a été déterminé selon la formule suivante, et ce, pour les facteurs de comptage $k = 1, 2, 4$ et 8 :

$$r_i = \frac{50}{\sqrt{k}} \cdot d_i \quad (42)$$

Le smartphone a été monté sur un trépied qui a été placé à une distance horizontale r_i de l'arbre de DHP d_i . La distance horizontale entre le centre du tronc et le smartphone a été mesurée à l'aide d'un distancemètre Leica DISTO D5. Un jalon muni d'une marque à une hauteur de 1.30 m du sol a été positionné à côté de l'arbre afin d'avoir un repère exact lors de la visée. Une fois le mode de mesure de la surface terrière démarré, l'arbre a été visé à une hauteur de 1.30 m. À ce moment précis, une capture d'écran a été faite (Fig. 42) et imprimée en format A4. Sur l'impression, deux distances ont ensuite été mesurées à l'aide d'une règle graduée : l'écart, au millimètre près, entre les bases des deux triangles verts et, toujours au millimètre près, la largeur du tronc à 1.30 m du sol. Finalement, les deux distances mesurées ont été comparées et l'éventuelle différence notée.



Fig. 42 : Exemple de capture d'écran faite lors des tests de la mesure de la surface terrière à l'ha. L'arbre de DHP 26 cm est visé à une hauteur de 1.30 m au dessus du sol indiquée par la marque jaune fixée sur le jalon. Dans cet exemple, on a utilisé le facteur de comptage $k = 4$ et le deuxième niveau de zoom.

Les tests ont été effectués pour les quatre facteurs de comptage $k=1, 2, 4$ et 8 . Cela signifie que chaque arbre de DHP d_i a été visé depuis quatre rayons critiques r_i différents, chacun d'entre eux correspondant à un facteur k donné. Depuis chaque rayon r_i , la mesure a été faite avec les quatre niveaux de zoom disponibles dans MOTI. De plus, les tests ont été effectués avec des appareils de marques différentes : un LG Nexus 4, un Samsung GALAXY Note II et un Samsung GALAXY S3 pour une partie des mesures seulement. Au total, 496 mesures ont été effectuées dans le cadre de ces tests (Tab. 7).

Tab. 7 : Nombre de mesures effectuées par configuration de test. Les paramètres suivants ont été testés : le facteur de comptage k , le DHP [cm] de l'arbre visé, la pente, le modèle de smartphone et le niveau de zoom. Dans le tableau, chaque groupe de quatre mesures correspond à une mesure par niveau de zoom.

Pente →		0 %								20 %				
DHP [cm] →	Facteur $k \downarrow$	9	16	30	37	43	51	60	72	8	14	26	34	46
LG Nexus 4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Samsung GALAXY Note II	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Samsung GALAXY S3	1	4	4	4	4	4	4							
	2	4	4	4	4	4								
	4	4	4	4	4	4								
	8	4	4	4	4	4								

5.1.1.2 Résultats

Sur les 496 mesures effectuées, 463, soit 93%, se sont avérées exactes. À savoir que, sur l'impression A4 de la capture d'écran, les bases des deux triangles verts correspondent exactement (au mm près) aux bords du tronc. Sur les 33 mesures inexactes, seules trois présentent un écart entre les triangles et les bords du tronc qui représente plus que 10% du DHP. Dans 27 cas sur 33, l'écart entre les triangles de référence est plus large que le tronc de l'arbre visé, dans 6 cas sur 33 il est plus étroit.

Tab. 8 : Résultats des tests de la mesure de la surface terrière. Le tableau met en évidence la différence entre la largeur du tronc et l'intervalle formé par les deux triangles à l'écran, mesurés sur l'impression A4 de la capture d'écran. La différence, soit l'erreur de mesure, est indiquée en % de la largeur du tronc. Lorsque l'erreur est positive, l'écart formé par les deux triangles est plus large que le tronc, lorsqu'elle est négative, c'est le contraire.

Pente →		0 %								20 %				
DHP [cm] →	Facteur $k \downarrow$	9	16	30	37	43	51	60	72	8	14	26	34	46
LG Nexus 4	1	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 9	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 25, 0	9, 0, 0, 0
	2	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 18, 12, 8	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 5, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0
	4	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 4, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 5	9, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0
	8	0, 5, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 6, 0	0, 5, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 4, 5, 3	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0
Samsung GALAXY Note II	1	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 6	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 9	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0
	2	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 10, 6, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0
	4	0, 0, 0, -3	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 4, -3	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 5
	8	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, -2	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 5, 5	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, -3, 2
Samsung GALAXY S3	1	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	
	2	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 6, 4	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0							
	4	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0							
	8	0, 0, 0, 4	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 4	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0							

On notera ici que les imprécisions relevées sur le format A4 apparaissent logiquement de manière moins marquées à l'écran. On peut sans doute partir du principe qu'une certaine partie des mesures inexactes en format A4 ne sont même pas détectées à l'écran lors de la mesure.

L'étude des résultats ne révèle aucun rapport évident entre l'exactitude des mesures et les facteurs testés à savoir le DHP de l'arbre visé, le facteur de comptage k , la pente du terrain, le niveau de zoom et enfin le modèle de smartphone. On note toutefois que sur les 124 mesures effectuées sans utiliser le zoom, une seule s'est avérée inexacte. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le calibrage est tendanciellement plus précis au niveau de zoom minimum qu'aux niveaux de zoom supérieurs (cf. chap. 3.5.1).

5.1.2 Mesure du nombre de tiges à l'ha (N)

5.1.2.1 Méthode

Les tests de la mesure du nombre de tiges à l'ha reposent sur la même idée que ceux de la mesure de la surface terrière à l'ha (cf. chap. 5.1.1.1). L'hypothèse testée ici est la suivante : lorsqu'un arbre, ou plus précisément le centre de son tronc, se trouve exactement sur le rayon de la placette circulaire de surface λ_A , alors, à l'écran, les deux marques triangulaires coïncident parfaitement avec les deux marques fixées sur le jalon qui se trouve au centre de la placette.

L'hypothèse a été testée de la manière suivante : on a placé un jalon muni d'une marque inférieure et d'une marque supérieure fixées à des hauteurs connues du sol, à un endroit quelconque (Fig. 43). Puis, on a tenu le smartphone exactement sur le rayon r de la placette circulaire de surface λ_A . La distance horizontale r entre le jalon et le smartphone a été mesurée à l'aide d'un distancemètre Leica DISTO D5. On a alors visé le jalon et fait une capture d'écran.

De la même manière que lors des tests de la mesure de la surface terrière à l'ha, on a imprimé les captures d'écran en format A4 et mesuré avec une règle graduée l'écart en millimètre entre les bases des triangles verts et les marques fixées sur le jalon. On notera ici que les marques jaunes ont été placées à l'extérieur de l'intervalle de référence, comme illustré dans la Fig. 7. La base du triangle inférieur devrait donc coïncider avec le haut de la marque inférieure et la base du triangle supérieur avec le bas de la marque supérieure.

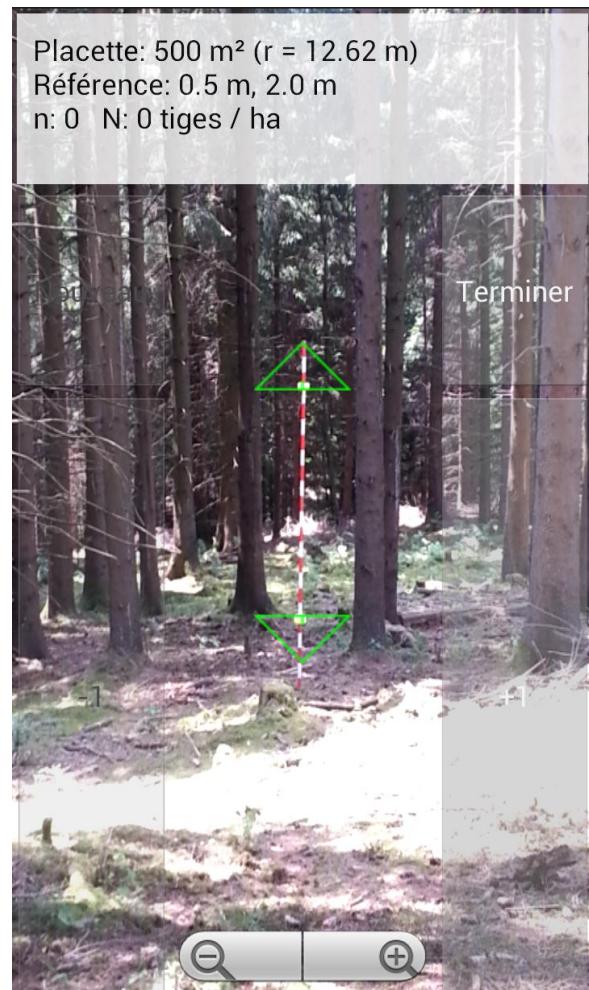


Fig. 43 : Exemple de capture d'écran faite lors des tests de la mesure du nombre de tiges l'ha. Dans cet exemple, l'intervalle de référence est de 1.5 m et on a utilisé le deuxième niveau de zoom. Le smartphone se trouve à une distance horizontale de 12.62 m du jalon ce qui correspond au rayon d'une placette circulaire de 500 m².

Les tests ont été effectués pour quatre tailles de placettes circulaires : 100, 300, 500 et 1'000 m² ($r = 5.64, 9.77, 12.62$ et 17.84 m). À partir de chaque rayon r , les mesures ont été effectuées avec les quatre niveaux de zoom disponibles et avec deux intervalles de référence différentes : 1.5 m (marque inf. à 0.5 m et marque sup. à 2.0 m) et 2.2 m (marque inf. à 0.1 m et marque sup. à 2.3 m). Toutes les mesures ont été effectuées avec deux appareils (Tab. 9), un Samsung GALAXY Note II et un LG Nexus 4, sur terrain plat (64 mesures) et en pente (32 mesures, intervalle de 1.5 m uniquement).

On notera que six mesures effectuées avec le niveau de zoom maximum n'ont pas pu être exploitées. La raison étant que la visualisation des triangles à l'écran n'était plus possible à cause de l'écart trop important causé par le niveau de zoom élevé.

Tab. 9 : Nombre de mesures effectuées par configuration de test. Les paramètres suivants ont été testés : la surface [m²] de la placette circulaire, l'intervalle [m] de référence formée par les deux marques fixées sur le jalon, la pente [%], le modèle de smartphone et le niveau de zoom

		Pente →				0 %				20 %				
		Intervalle de référence →				1.5 m				2.2 m				
		Niveau de zoom →				0	1	2	3	0	1	2	3	
		Surface de la placette ↓				100 m ²	1	1	1	0	1	1	1	0
Samsung GALAXY Note II	100 m ²	100 m ²	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
	300 m ²	300 m ²	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
	500 m ²	500 m ²	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1'000 m ²	1'000 m ²	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LG Nexus 4	100 m ²	100 m ²	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
	300 m ²	300 m ²	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	500 m ²	500 m ²	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1'000 m ²	1'000 m ²	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.1.2.2 Résultats

80 des 90 mesures exploitables, soit 89%, sont exactes : sur l'impression A4 de la capture d'écran, les bases des deux triangles coïncident exactement (au mm près) avec les marques de référence fixées sur le jalon. Dans huit mesures inexactes sur dix, l'écart formé par les deux triangles à l'écran est plus important que celui formé par les deux marques sur le jalon, dans les deux autres cas, c'est le contraire. On note qu'une seule mesure affiche une erreur supérieure à 5%.

Tab. 10 : Résultats des tests de la mesure du nombre de tiges. Le tableau met en évidence les mesures inexactes en indiquant l'erreur, soit la différence, à l'écran, entre l'écart formé par les deux triangles et celui formé par les deux marques fixées sur le jalon. L'erreur est indiquée en % de l'écart formé à l'écran par les deux marques fixées sur le jalon. Lorsque l'erreur est positive, l'écart formé par les deux triangles est plus large que celui formé par les deux marques fixées sur le jalon, lorsqu'elle est négative, l'écart est plus petit que celui formé par les deux marques.

		Pente →				0 %				20 %								
		Intervalle de référence →				1.5 m				1.5 m								
		Niveau de zoom →				0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	
		Superficie de la placette ↓				100 m ²	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	0
Samsung GALAXY Note II	100 m ²	100 m ²	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	0
	300 m ²	300 m ²	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	+1	0	0	0	0
	500 m ²	500 m ²	0	0	0	0	0	0	0	+1	0	0	+1	0	0	0	0	+5
	1'000 m ²	1'000 m ²	0	0	0	0	0	0	0	+1	0	0	0	+5	0	0	0	0
LG Nexus 4	100 m ²	100 m ²	0	+9	+1	-	0	-1	0	-	0	0	0	-	0	0	0	-
	300 m ²	300 m ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	500 m ²	500 m ²	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	+2	0	0	0	+2	0
	1'000 m ²	1'000 m ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tout comme pour les tests de la mesure de G , on ne constate aucune relation évidente entre l'exactitude des résultats et les facteurs suivants : l'intervalle formé par les marques de référence sur le jalon, la taille de la placette circulaire, la pente du terrain et le modèle d'appareil. Quant au niveau de zoom, on constate que toutes les mesures effectuées sans zoom sont correctes. Ici aussi, on peut émettre l'hypothèse que le calibrage est tendanciellement plus précis au niveau de zoom minimum et que de ce fait, les mesures sont plus précises également.

5.1.3 Mesure de la hauteur de l'arbre (h)

5.1.3.1 Méthode

Pour les tests de mesure de hauteur, quatre objets de hauteur différente ont été utilisés: un bâtiment d'une hauteur de 9.0 m, une branche cassée à une hauteur de 15.5 m sur un arbre ainsi que les cimes de deux arbres, la première à une hauteur de 32.3 m et la deuxième à une hauteur de 41.8 m. Les cimes ont été choisies de sorte à ce que leur sommet se distingue clairement. La hauteur réelle de ces objets a été mesurée à l'aide d'un Vertex III et d'un Transponder T3. À chaque fois, la mesure a été répétée à quatre reprises et la moyenne des quatre mesures considérée comme la hauteur réelle de l'objet. Les tests ont été effectués sur terrain plat.

En plus d'étudier l'exactitude des mesures de hauteur effectuées avec MOTI, l'objectif de ces tests était aussi d'étudier l'influence de certains paramètres sur les résultats. Ainsi, des séries de tests ont été effectuées selon des configurations différentes. Premièrement, et comme cela a été évoqué plus haut, on a mesuré quatre objets de différentes hauteurs : 9.0, 15.5, 32.3 et 41.8 m. Deuxièmement, on a fixé la marque de référence pour la 2^{ème} visée à trois hauteurs au dessus du sol différentes : 2, 3 et 4 m. Troisièmement, les mesures ont été effectuées à différentes distances de l'objet. Ces distances ont été choisies pour se situer entre $\frac{1}{2}$ et 1x la hauteur de l'objet mesuré. La distance horizontale entre le smartphone et l'objet mesuré a été déterminée à l'aide d'un distancemètre Leica DISTO D5. Finalement, les mesures ont été effectuées avec deux modèles de smartphones : un Samsung GALAXY Note II et un LG Nexus 4. Au total, 270 mesures de hauteur ont été effectuées dans le cadre de ces tests. La Tab. 11 indique le nombre de mesures effectuées par configuration de test.

Tab. 11 : Nombre de mesures de hauteur effectuées par configuration de test. Les paramètres suivants ont été testés : la hauteur réelle [m] de l'objet mesurée à l'aide du Vertex, la distance horizontale [m] entre le smartphone et l'objet mesuré au moment de la mesure, la hauteur de la marque de référence [m] (hauteur de la marque sur le jalon) et le modèle de smartphone. 270 mesures ont été effectuées au total.

Hauteur Vertex →		9.0 m		15.5 m			32.3 m			41.8 m		
Distance [m] →	Marque de référence ↓	5.0	9.0	9.2	12.7	15.4	18.0	15.5	25.0	31.0	20.4	31.0
Samsung GALAXY Note II	2 m	5	5	-	5	-	5	5	5	5	5	5
	3 m	5	5	-	5	-	5	5	5	5	5	5
	4 m	5	5	-	5	-	5	5	5	5	5	5
LG Nexus 4	2 m	5	5	5	-	5	-	5	5	5	5	5
	3 m	5	5	5	-	5	-	5	5	5	5	5
	4 m	5	5	5	-	5	-	5	5	5	5	5

Il est important de signaler qu'on a toujours effectué en premier toutes les mesures de hauteurs avec MOTI et la mesure au Vertex en dernier afin de ne pas être influencé de quelque manière que ce soit par la hauteur réelle de l'objet. De plus, les tests ont été effectués par un utilisateur aguerri de MOTI. On a veillé à travailler les bras tendus, de sorte à ce que le point de rotation (les épaules), le smartphone et le point visé soient systématiquement dans le même alignement au moment de la visée, comme illustré dans la Fig. 14. Les résultats présentés au chapitre suivant sont donc valables pour un utilisateur expérimenté. Selon les observations faites au cours du développement de MOTI, il semblerait que la qualité des résultats des mesures de hauteur s'améliore significativement au fur et à mesure que l'utilisateur acquière de l'expérience.

5.1.3.2 Résultats

Les résultats présentés dans les Fig. 44 à Fig. 47 se basent sur les mesures de hauteur individuelles, la Fig. 48 quant à elle considère la moyenne de plusieurs mesures effectuées dans la même configuration de test.

La **Fig. 44** présente les résultats des 270 mesures de hauteur effectuées avec MOTI dans le cadre des tests, en relation avec les hauteurs mesurées à l'aide du Vertex. En moyenne, les résultats des mesures sont très bons (Tab. 12) : 9.1 m pour l'objet de 9.0 m, 15.5 m pour l'objet de 15.5 m, 32.2 m pour l'objet de 32.3 m et 41.6 m pour l'objet de 41.8 m.

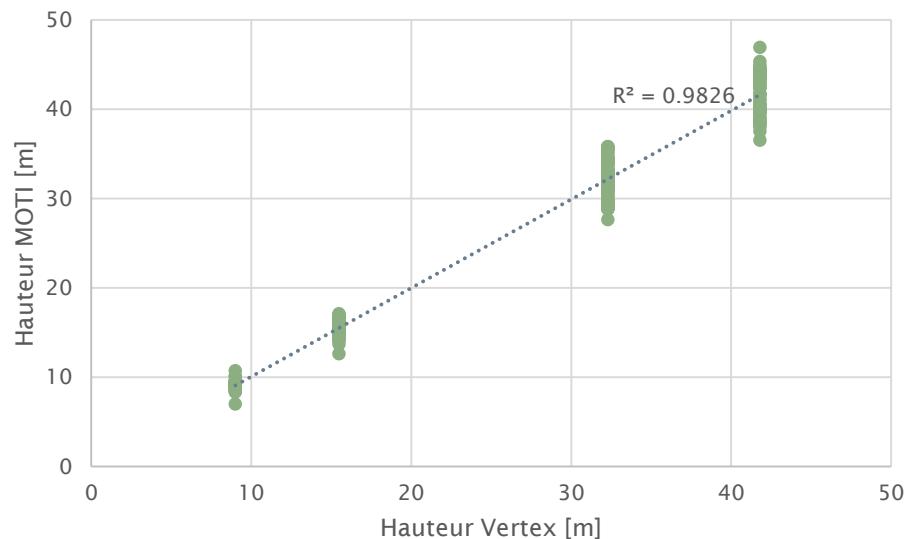


Fig. 44 : Résultats [m] des mesures de hauteurs effectuées avec MOTI par rapport aux hauteurs réelles [m] des objets mesurées à l'aide d'un Vertex : 9.0 m (n=60), 15.5 m (n=60), 32.3 m (n=90), 41.8 m (n=60).

Sur la **Fig. 44**, on observe que plus l'objet mesuré est haut, plus l'écart entre la mesure minimale et la mesure maximale est important. Le coefficient de corrélation R^2 très élevé indique toutefois que la variabilité des mesures effectuées avec MOTI est particulièrement faible. 50 % des mesures effectuées sur l'objet de 9.0 m se situent entre 8.9 et 9.3 m, entre 15.1 et 16.1 m pour l'objet de 15.5 m, entre 30.8 et 33.6 pour l'objet de 32.3 m et entre 39.8 et 43.7 pour l'objet de 41.8 m (Tab. 12).

Tab. 12 : Statistiques (minimum, quartiles, maximum et moyenne) des hauteurs [m] mesurées avec MOTI selon la hauteur réelle [m] de l'objet mesuré.

	9.0 m (n=60)	15.5 m (n=60)	32.3 m (n=90)	41.8 m (n=60)
Minimum	7.0	12.6	27.6	36.5
q1	8.9	15.1	30.8	39.8
Médiane	9.1	15.5	32.5	41.7
Moyenne	9.1	15.5	32.2	41.6
q3	9.3	16.1	33.6	43.7
Maximum	10.7	17.1	35.8	46.9

Il est intéressant de constater qu'aucune tendance systématique à la sur- ou sous-estimation des hauteurs par MOTI ne se dégage des résultats. En effet, Dans 126 cas sur 270, soit 47% des mesures, la hauteur a été surestimée par MOTI et dans 133 cas, soit 49%, elle a été sous-estimée. À 11 reprises, la hauteur mesurée avec MOTI, arrondie à 10 cm, était identique à celle mesurée à l'aide du Vertex.

La Fig. 45 différencie les résultats selon les appareils utilisés. Si l'on considère les médianes, on ne constate pas de différences notables entre les résultats obtenus avec les deux appareils. Par contre, il apparaît clairement que les résultats obtenus avec le LG Note II soumis à une plus grande variabilité que ceux obtenus avec le Samsung GALAXY Note II, et ce, quelle que soit la hauteur de l'objet mesuré. Le Samsung GALAXY Note II étant plus grand, il permet sans doute une prise en main plus stable et donc une meilleure visée.

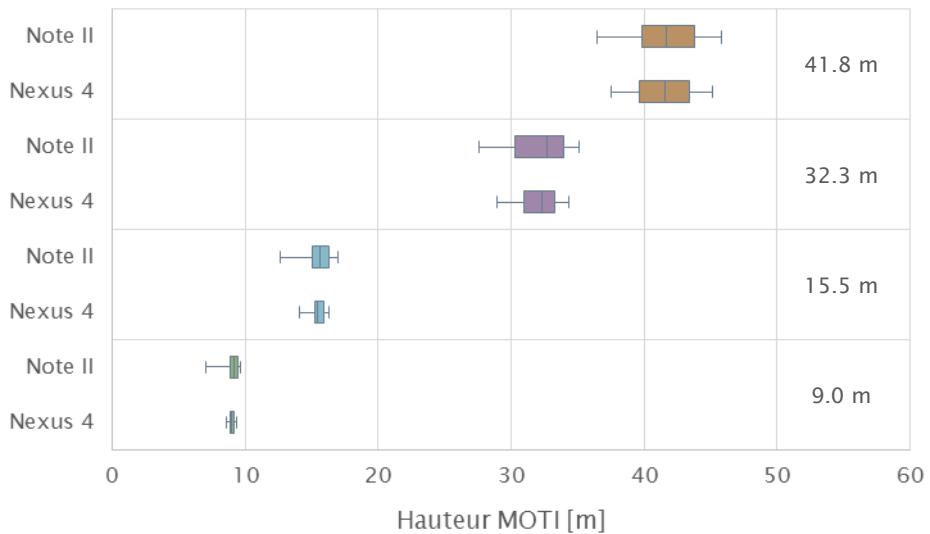


Fig. 45 : Boxplots des hauteurs [m] mesurées avec MOTI selon la hauteur réelle [m] de l'objet mesuré et le modèle de smartphone utilisé : LG Nexus 4 et Samsung GALAXY Note II. De bas en haut, n=30, 30, 30, 30, 45, 45, 30, 30.

La Fig. 46 illustre l'influence de la hauteur de la marque de référence fixée sur le jalon sur l'erreur relative de la mesure de hauteur, et ce, selon la hauteur de l'objet mesurée à l'aide du Vertex. On notera qu'on ne fait pas la différence entre les erreurs positives et négatives, c'est la valeur absolue qui est considérée.

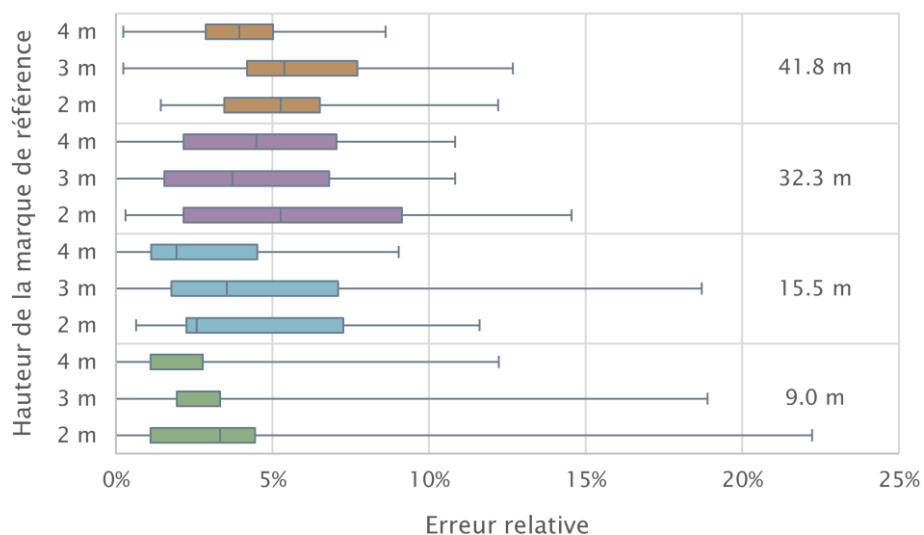


Fig. 46 : Boxplots de l'erreur relative [%] des hauteurs mesurées avec MOTI selon la hauteur réelle [m] de l'objet mesurée à l'aide du Vertex et la hauteur [m] de la marque de référence fixée sur le jalon. De bas en haut, n=20, 20, 20, 20, 20, 20, 30, 30, 30, 20, 20, 20.

On observe que les mesures sont systématiquement plus précises lorsque la marque de référence est fixée à 4 m de hauteur qu'à 2m. La grande majorité des mesures présente une erreur inférieure à 10 % de la hauteur mesurée au Vertex. À trois exceptions près, les médianes se situent en-dessous de la barre des 5 % et celles qui se trouvent au-dessus ne le sont que légèrement.

La Fig. 47 met en relation la distance horizontale entre le smartphone et l'objet mesuré et l'erreur relative des mesures. En ce qui concerne les objets de 9.0 m et 32.3 m de haut, il semblerait que la distance à l'objet aie une influence positive sur la précision des mesures. Une chose est par contre certaine : plus la distance est importante, plus les angles mesurés sont fermés et donc plus une erreur de visée aura d'incidence sur la précision de la hauteur mesurée.

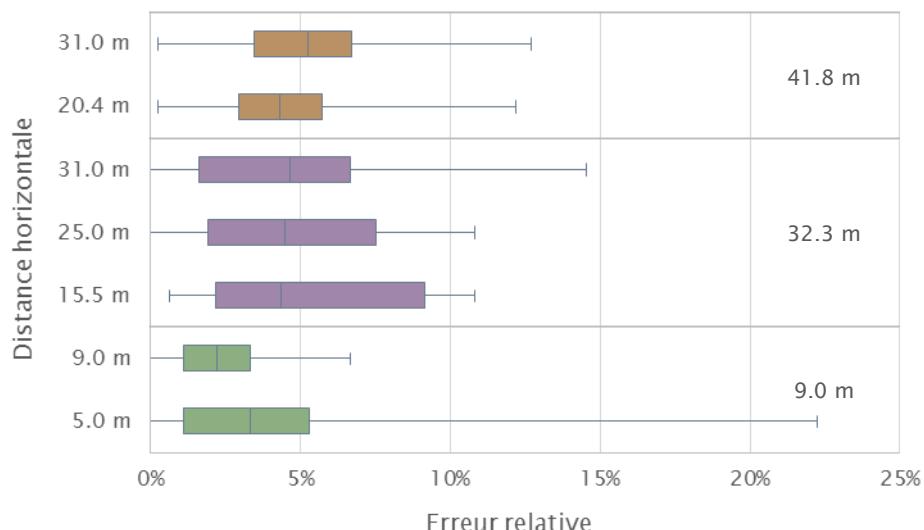


Fig. 47 : Boxplots de l'erreur relative [%] des hauteurs mesurées avec MOTI selon la hauteur réelle [m] de l'objet mesurée avec le Vertex et la distance horizontale [m] entre le smartphone et l'objet mesuré. De bas en haut, n=30, 30, 30, 30, 30, 30, 30. Les mesures effectuées sur l'objet de 15.5 m de haut ont été exclues de l'échantillon car les mesures n'ont pas été faites à une distance identique de l'objet avec les deux modèles de smartphones.

Le mode de mesure de la hauteur offre la possibilité d'effectuer plusieurs mesures de hauteur et de considérer leur moyenne comme résultat final (cf. chap. 4.2.3). La Fig. 48 illustre la précision du résultat final de la mesure de hauteur en fonction du nombre de mesures effectuées. Déjà avec deux mesures au lieu d'une, la précision du résultat augmente considérablement. On constate non seulement une amélioration au niveau de la précision du résultat (l'erreur passe en moyenne de 4.2 avec une mesure à 2.7 % avec deux mesures, cf. Tab. 13), mais également au niveau de la variabilité des mesures dont l'erreur se situe entre 0.0 et 18.7 % lorsqu'une seule mesure est effectuée et entre 0.0 et seulement 10.4 % lorsqu'on considère la moyenne de deux mesures. Après, procéder à des mesures supplémentaires ne semble pas améliorer notablement les médianes et les quartiles mais limiter les valeurs extrêmes (maximum).

Tab. 13 : Statistiques (minimum, quartiles, maximum et moyenne) de l'erreur relative des résultats obtenus avec MOTI selon le nombre de mesures effectuées (le résultat étant la moyenne des mesures effectuées).

	1 mesure (n=54)	2 mesures (n=54)	3 mesures (n=54)	4 mesures (n=54)	5 mesures (n=54)
Minimum	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
q1	1.6 %	1.0 %	0.8 %	0.8 %	0.9 %
Médiane	4.4 %	1.9 %	2.2 %	1.5 %	1.7 %
Moyenne	4.2 %	2.7 %	2.6 %	2.2 %	2.2 %
q3	5.9 %	4.1 %	3.3 %	3.0 %	3.3 %
Maximum	18.7 %	10.4 %	10.0 %	8.3 %	7.6 %

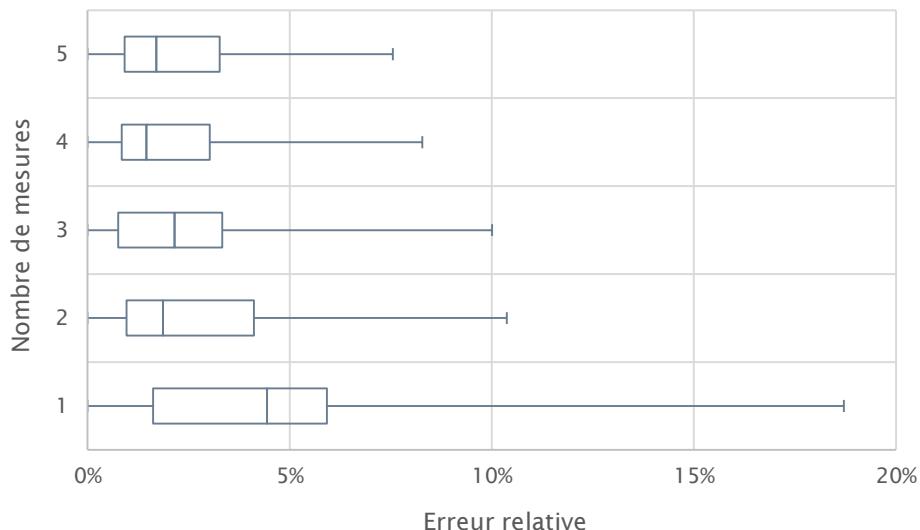


Fig. 48 : Boxplots de l'erreur relative [%] du résultat de la mesure de hauteur en fonction du nombre de mesure effectuées et considérées dans la moyenne. De bas en haut, n=54, 108, 162, 216, 270.

5.2 Test comparatif MOTI vs. relascope de Bitterlich

Dans le cadre du test comparatif, MOTI a été comparé avec son « pendant » analogue pour la mesure de la surface terrière, le relascope de Bitterlich.

5.2.1 Méthode

Les tests ont été effectués dans quatre peuplements (feuillus et résineux, perchis et futaie, cf. Tab. 14). Dans chaque peuplement, on a effectué un relevé de la surface terrière selon Bitterlich à partir de quatre centres d'échantillonnage choisis au hasard, avec le relascope et avec MOTI. Les relevés ont été effectués avec les trois facteurs de comptage $k = 1, 2$ et 4 . Ainsi, 96 relevés ont été effectués au total.

5.2.2 Résultats

La Tab. 14 présente les résultats des relevés effectués avec les deux appareils. Les valeurs indiquées correspondent au nombre d'arbres comptés lors de chaque relevé. Dans 30 cas sur 48, on a compté exactement le même nombre de tiges avec les deux appareils. Dans 14 cas, on a obtenu une différence d'une tige et dans 4 cas de deux tiges.

Tab. 14 : Résultats des tests comparatifs MOTI vs. relascope de Bitterlich pour la mesure de la surface terrière à l'ha. Les valeurs indiquées correspondent au nombre d'arbres comptés lors de chaque relevé. Les valeurs mises en évidence correspondent aux erreurs de mesure : orange : chevauchement de plusieurs arbres, gris : arbre caché par un autre. Les exposants se rapportent à la Fig. 49.

Facteur k →	Feuillus			Résineux								
	Perchis			Futaie			Perchis			Futaie		
Facteur k →	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1
Relascope	4	9	17	13	25	49	9	18	36	15 ²	28	56
MOTI	4	9	18	13	25	49	9	18	36	14	27	54
Relascope	4	9	18	11	24	47	10	19	38	18	34	64 ⁴
MOTI	4	9	18	11	23	47	9	18	36	17	33	66
Relascope	5	10	20	13	26	53 ¹	9	18	34	16	32 ³	62
MOTI	5	9	20	13	26	52	9	17	35	15	31	62
Relascope	5	10	20	14	26	54	10	17	34	17	33	66
MOTI	5	10	20	14	28	56	9	17	34	17	33	66

Deux sources de divergence dans le comptage ont été constatées :

- Le chevauchement de plusieurs troncs : plusieurs arbres situés les uns derrière les autres apparaissent comme n'étant qu'un seul et unique arbre. On compte un arbre au lieu de deux voire plus ce qui entraîne une sous-estimation de la surface terrière. Ce phénomène est accentué lorsque la visibilité est mauvaise ou la luminosité est faible.
- Arbres cachés : il arrive qu'un ou plusieurs troncs disparaissent complètement derrière un tronc plus proche du centre d'échantillonnage. Il est alors nécessaire de se décaler pour viser la ou les tiges cachées sans quoi les troncs en question seront négligés et la surface terrière sous-estimée.

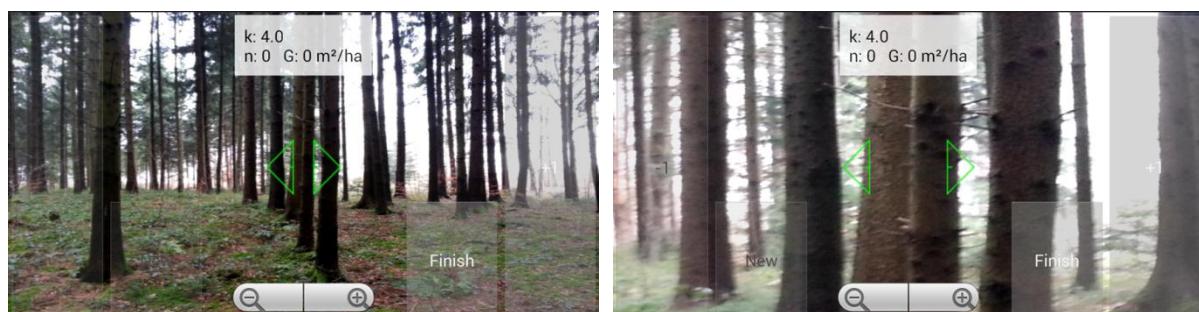
La Fig. 49 illustre des cas de chevauchements et d'arbres cachés rencontrés lors des tests.

Cas 1 : Chevauchement



Sans la fonction de zoom, difficile de se rendre compte qu'il s'agit de deux arbres. Dans ce cas, avantage à MOTI qui permet de remarquer ce problème.

Cas 2: Chevauchement



Idem que précédemment, bien qu'ici avec MOTI nous distinguons déjà les deux troncs, alors que les conditions de luminosité ne permettent pas de les distinguer avec le relascope.

Cas 3 : Chevauchement



Toujours deux arbres qui apparaissent de loin comme un seul et lorsque le zoom de MOTI fait son œuvre ils apparaissent comme deux,

Cas 4 : Arbre caché



Ici un arbre caché nécessitant de se décaler et de viser entre les arbres déjà comptés.

Fig. 49 : Cas de chevauchement (1-3) et d'arbres cachés (4) rencontrés lors des tests. Il s'agit de captures d'écran effectuées avec MOTI.

Le chevauchement de deux ou plusieurs troncs à l'image est à l'origine de 11 divergences dans le comptage des tiges. Dans tous les cas, c'est avec le relascope que l'erreur a été commise (cf. Tab. 14). Par rapport au relascope, MOTI offre deux avantages de taille en cas de chevauchement de plusieurs arbres : (1) la fonction de zoom qui permet de mieux évaluer la situation et (2) la clarté de l'écran qui s'adapte automatiquement à la luminosité ambiante et compense, du moins en partie, une faible luminosité. On constate que les chevauchements sont nettement plus fréquents dans les peuplements de résineux. Ceci s'explique, du moins en partie, par une densité tendanciellement plus importante et une luminosité plus faible que dans le peuplement de feuillus. De plus, les troncs résineux ont tendance à être plus droits et d'apparence plus uniforme que les feuillus, il est par conséquent plus facile d'assimiler deux troncs lors de la visée.

Sur les sept cas de troncs cachés rencontrés lors des tests, quatre erreurs ont été commises avec le relascope et trois avec MOTI. À priori, le risque de commettre une erreur lors du comptage est plus ou moins équivalent avec les deux appareils.

Si l'on compare les deux appareils du point de vue de leur utilisation et de leur prise en main, on note les différences suivantes :

Visibilité	La majorité des smartphones compensent automatiquement une faible luminosité en augmentant la clarté de l'écran.
Zoom	Le zoom de MOTI permet de mieux appréhender les cas de chevauchements et les tiges limites.
Comptage	Avec le relascope, il est nécessaire de compter les tiges de tête, avec le risque d'oublier le nombre exact. Avec MOTI, les tiges comptées sont directement saisies à l'aide du bouton « +1 ».
Visée	Le système de visée par bande translucide du relascope permet de juger un peu plus facilement les tiges limites, pour autant qu'elles soient bien visibles sans zoom.

5.3 Tests d'utilisation

Les tests d'utilisation de MOTI ont été effectués à trois niveaux :

- 1) au sein de l'équipe de projet en parallèle au développement,
- 2) au sein du groupe d'accompagnement lors des workshops qui ont eu lieu à la fin de chaque phase de développement et
- 3) au sein des cantons partenaires à la fin du développement.

Lors de ces tests, l'accent a été mis sur les aspects suivants :

- La consistance des résultats
Les résultats des mesures et des calculs sont-ils cohérents ?
- La logique des procédures
Les étapes de travail sont-elles claires ? Leur ordre est-il logique ? Les interfaces sont-elles adéquates ?
- L'intégralité et la simplicité
Tous les éléments importants ont-ils été intégrés à l'application ? Certains éléments sont-ils superflus ? Les informations indispensables à l'utilisation sont-elles disponibles, p.ex. dans l'aide ?
- La facilité d'utilisation
L'utilisation de l'outil est-elle instinctive, ergonomique ?
- Les bugs
Des bugs surviennent-ils lors de l'utilisation ?

Au cours du développement, chaque nouveau composant de l'application a systématiquement été testé par l'équipe de projet. Ces tests internes ont permis de détecter les éventuels problèmes à un stade précoce du développement et d'y remédier au fur et à mesure. Les résultats des tests, tels que les propositions d'amélioration par exemple, ont directement été pris en compte lors de la consolidation des composants.

Comme cela a déjà été évoqué au chapitre 2.3, un workshop a été organisé à la fin de chaque étape de développement. Lors de chacun des trois workshops, les membres du groupe d'accompagnement ont eu l'occasion de tester les derniers éléments implémentés et consolidés au sein de l'équipe de projet.

Lors du premier workshop (4 février 2013), l'accent a été mis sur la logique des procédures et des interfaces correspondantes qui ont été testées dans le cadre d'un travail de groupe à l'aide du *paper prototyping* (cf. chap. 2.2). Les critiques, remarques, idées, souhaits des membres du groupe quant aux différentes interfaces et à l'organisation de l'application ont été formulés sur des cartes qui ont ensuite été photographiées. Les photos des résultats du test ont été jointes au protocole du workshop et archivées.

Dans le cadre du deuxième workshop (22 avril 2013), une première version de l'application a pu être testée par les membres du groupe d'accompagnement en forêt. Ce prototype regroupait les composants suivants : mesure de G , de N , de h , estimation de V et relevé d'une placette d'échantillonnage. Le test a été effectué en groupe, chaque groupe étant encadré par un membre de l'équipe de projet. Ici aussi, les participants ont noté leurs remarques sur des cartes de couleur au fur et à mesure du test. Trois couleurs ont été utilisées : le rose pour les propositions d'amélioration, le vert pour les éléments positifs à garder absolument et le bleu pour les idées pour le développement futur. À la fin du test, les cartes ont été récoltées, regroupées par thème sur des panneaux en liège et discutées une à une en plenum afin de les prioriser et de définir la suite du travail (quels aspects doivent absolument être corrigés/implémentés, quelles modifications sont souhaitables mais pas prioritaires, lesquelles peuvent être laissées de côté, etc.).

Un deuxième prototype de MOTI a été testé en forêt lors du troisième workshop (5 juillet 2013). Les principales nouveautés de ce prototype par rapport au premier étaient l'inventaire au niveau du peuplement, l'assistant de calibrage ainsi que les différents menus configuration, calibrage, mentions légales, feedback, synchronisation, etc. Comme lors des précédents workshops, les retours des participants ont été documentés et discutés en plenum. Ils ont ensuite mené à des corrections et améliorations de l'application.

Une fois l'application MOTI complète et consolidées, une dernière série de tests a été effectuée dans les cantons partenaires du projet. Ces tests d'une demi-journée chacun se sont déroulés dans les cantons des Grisons (28 août 2013), du Valais (29 août), de Fribourg (5 septembre), de Vaud (12 septembre), de Lucerne (12 septembre également) et de Zurich (14 novembre) selon le même principe. Au total, 29 personnes ont jusqu'ici participé à ces tests : ingénieurs forestiers, gardes-forestiers et stagiaires, tous collaborateurs et collaboratrices des services forestiers cantonaux en question. Le test dans le canton du Tessin se déroulera a priori au printemps 2014.

En guise de préparation au test, les participants possédant un smartphone Android ont été invités à installer l'application MOTI et à procéder au calibrage de leur appareil à l'avance, en suivant les instructions de l'assistant de calibrage intégré à MOTI. Les retours des participants quant à l'installation de l'application et à la procédure de calibrage ont été documentés lors du test. Des smartphones calibrés ont été mis à la disposition des participants qui n'avaient pas de smartphone Android à disposition, il s'agissait d'un LG Nexus 4 et de deux Samsung GALAXY Note II.

Les tests se sont déroulés de la façon suivante : dans un premier temps, le membre de l'équipe de projet responsable du test livrait quelques informations générales quant au projet, son origine et ses objectifs. Puis, dans un deuxième temps, les participants effectuaient les tâches suivantes avec MOTI : mesure de la surface terrière, de la hauteur d'un arbre, estimation du volume, mesures de G , N et h combinées sur une placette d'échantillonnage et pour terminer, inventaire d'un peuplement. Pendant ce temps, le responsable du test documentait les remarques des participants quant à l'application. La discussion finale était l'occasion pour les participants de faire le bilan de leur première expérience avec MOTI, ces retours ont eux-aussi été documentés.

Le bilan des tests d'utilisation dans les cantons partenaires du projet a été très positif. Les participants ont souligné la prise en main aisée de l'application, sa convivialité, son ergonomie et la rapidité avec laquelle de bons résultats de mesure sont obtenus. La critique principale qui a été émise à plusieurs reprises était le fait que l'application ne soit pas disponible pour l'iPhone.

5.4 Recommandations

Les résultats des tests ainsi que l'expérience accumulée au cours du développement de MOTI permettent de formuler les recommandations suivantes quant aux différentes mesures.

Mesure de la surface terrière à l'ha :

- Commencer systématiquement le tour d'horizon par l'arbre le plus proche du centre de la placette afin de se rappeler de l'arbre par lequel on a commencé.
- Veiller à bien viser les arbres à hauteur de poitrine, soit 1.30 m au-dessus du sol. Éventuellement s'aider d'un repère lors des premières mesures pour se faire l'œil.
- Lorsqu'un arbre est caché par un autre, se décaler d'un ou deux pas sur le côté en veillant à ce que la distance à l'arbre reste la même.

Mesure du nombre de tiges à l'ha :

- Commencer systématiquement le tour d'horizon par l'arbre le plus proche du centre de la placette afin de se rappeler de l'arbre par lequel on a commencé.
- Pour gagner du temps, ne contrôler que les arbres limites, soit ceux qui se trouvent à une distance du centre plus ou moins équivalente au rayon.
- Sur le jalon, placer les marques de référence à l'extérieur de l'intervalle. De cette manière, tant qu'à l'écran les triangles verts ne se superposent pas aux marques, l'arbre est compté.

Mesure de la hauteur de l'arbre :

- Choisir une hauteur de référence correspondant au moins à 1/10 de la hauteur de l'objet mesuré.
- Dans un terrain en pente, effectuer les mesures depuis l'amont de l'arbre plutôt que depuis l'aval.
- S'éloigner juste assez pour bien distinguer les trois points à viser (pied de l'arbre, la marque sur le jalon et le sommet de l'arbre) mais pas plus que nécessaire.
- Effectuer au moins deux mesures de la hauteur et considérer la moyenne (calculée automatiquement à l'écran) comme résultat final. Si les résultats des deux mesures sont significativement différents, alors effectuer une troisième, voire une quatrième mesure.
- Si le résultat d'une mesure semble aberrant par rapport aux autres, l'effacer.

Finalement, on relèvera l'importance cruciale du calibrage pour obtenir des résultats de mesure précis. Le calibrage du champ de vision est d'autant plus sensible que le niveau de zoom est élevé, il est à effectuer de manière particulièrement soigneuse.

6 Vulgarisation

6.1 Releases

L'application MOTI a été publiée sur Google Play à différents stades de son développement (Tab. 15). À l'heure actuelle (31.3.2014), MOTI a été téléchargé à plus de 800 reprises depuis Google Play.

Tab. 15 : Publication des différentes versions de l'application MOTI sur Google Play.

Version	Date	Fonctionnalités	Langues
MOTI 0.9	15.08.2013	<ul style="list-style-type: none">mesure de G, N et h, estimation de Vmesures combinées sur une placetteinventaire de peuplement	D, F, I, E
MOTI 1.0	25.11.2013	<ul style="list-style-type: none">inventaires locaux avec navigation aux coordonnées vouluesextension SiWaWasynchronisation des données avec le serveurcorrection du problème d'installation sur les appareils avec écran haute résolution	D, F, I, E
MOTI 1.0.1	31.01.2014	<ul style="list-style-type: none">intégration de nouveaux tarifs pour l'estimation du matériel sur pied	D, F, I, E
MOTI 1.0.2	14.03.2014	<ul style="list-style-type: none">correction de la qualité de l'image sur HTC One	D, F, I, E

6.2 Site internet

Le site internet www.moti.ch a été créé par la HAFL spécialement pour MOTI. Il propose une présentation détaillée des fonctionnalités, une rubrique d'aide et des informations sur les derniers développements de l'application avec la possibilité de s'abonner à un flux RSS. Le site recense aujourd'hui près de 853 visiteurs.

6.3 Publications

L'application MOTI est présente dans les médias depuis 2012 et a été présentée au public lors de divers événements ces deux dernières années. Au printemps 2012, un communiqué de presse a été diffusé par la HAFL et repris par plusieurs journaux et sites internet en Suisse (p. ex. site internet d'[Économie forestière Suisse](#)), en Allemagne et en Autriche.

Deux articles ont été consacrés à MOTI dans des journaux forestiers suisses en 2012, le premier dans la Forêt bernoise (numéro 6, p. 132) et le deuxième dans le Journal forestier suisse (numéro 163, volume 7, p. 282).

En 2013, MOTI a été présenté à un public scientifique dans le cadre de plusieurs événements : tout d'abord en mars à la World Teak Conference 2013 de Bangkok où J. Lichtenhahn, étudiant à la HAFL, a présenté son travail de bachelor réalisé à l'aide de MOTI, puis le 10 avril dans le cadre de la 16^{ème} réunion CAQ-CAPSIS à Prénovel, France (Gollut et al. 2013), quelques jours plus tard à la conférence « Decision Support Systems for Sustainable Forest Management » organisée dans le cadre de la COST Action FP0804 (FORSYS) qui a eu lieu à Umeå en Suède (Rosset et al. 2013), et enfin dans le cadre de la réunion de la « Community of Practice – Forest Management Decision Support Systems » en octobre à Lisbonne.

6.4 Manifestations

MOTI a été présenté à un large public de professionnels et amateurs dans le cadre de divers événements :

- Inauguration du nouveau bâtiment de la HAFL le 3 novembre 2012 : mesure de la surface terrière testée par le grand public ;
- Journée d'information de la HAFL le 19 janvier 2013 : mesure de la surface terrière testée par des jeunes intéressés par une formation forestière ;
- Foire forestière de Lucerne, stand de la HAFL, 15-18 août 2013 : test des instruments de mesure G et h et du calcul de V par les professionnels de la forêt ont eu l'occasion de tester les.
- Interforst, Munich, 16-20 juillet 2014 (à venir) : présentation de MOTI.

6.5 Formation

L'application MOTI est utilisée dans l'enseignement forestier :

- à la HAFL, dans le cadre des modules « Inventaire forestier, croissance forestière et planification forestière », « Bases de sylviculture et de la connaissance des stations », « Sylviculture du taillis à la forêt jardinée » et « Développement forestier durable à l'échelon local, national et international »,
- à l'École polytechnique fédérale de Zurich EPFZ dans le cadre du cours « Ausgewählte Kapitel des multifunktionales Waldmanagements »,
- et a été présenté dans le cadre de l'excursion ProSilvaSuisse du 21 février 2014 consacrée à la notion de surface terrière.

7 Discussion

La discussion reprend les objectifs du projet et les compare aux résultats obtenus, analyse de façon critique la méthodologie et le déroulement du projet, revient sur l'impact de l'application MOTI dans la pratique et dans la communauté scientifique et esquisse les perspectives d'avenir de cette application.

7.1 Objectifs du projet et résultats obtenus

L'objectif principal du projet était de mettre à la disposition des forestiers un instrument simple qui leur permette de chiffrer facilement ce qu'ils voient lorsqu'ils sont en forêt et de disposer ainsi d'une base décisionnelle objective et immédiate sur le terrain. Ce projet a fait naître une telle application. L'app MOTI est disponible sur Google Play Store et a déjà fait l'objet de plus de 800 installations en Suisse et à l'étranger en date du 31 mars 2014. L'app, ainsi que le site internet qui lui est dédié et qui comprend en particulier un aide succincte, sont disponibles en français, en allemand, en italien et en anglais. La possibilité de synchroniser les données collectées avec MOTI avec un serveur vient compléter l'offre. On notera qu'aucune connexion internet n'est nécessaire pour utiliser MOTI en forêt. Différents aspects essentiels de MOTI sont discutés plus en détails dans les paragraphes suivants.

Réalisation des fonctionnalités de base prévues par le projet

Comme prévu dans les objectifs du projet, MOTI dispose de trois instruments de mesure pour la surface terrière à l'ha (G), le nombre de tiges à l'ha (N) et la hauteur d'arbre (h), qui sont intégrés dans trois modes d'utilisation : mesure individuelle, mesures combinées à partir d'un même point d'échantillonnage (resp. sur une placette) et inventaire par échantillonnage au niveau du peuplement. Le calcul de la marge d'erreur statistique se fait automatiquement pour les inventaires par échantillonnage.

Un mode pas prévu initialement a été rajouté, à savoir les inventaires par échantillonnage au niveau local sur maillage systématique, qui peuvent être utilisés par exemple au niveau d'un massif forestier ou au niveau des forêts d'une unité de gestion. Suite aux demandes des partenaires du projet dans le cadre du premier workshop, un instrument a été développé pour la détermination rapide du matériel sur pied à l'ha (V). La possibilité d'obtenir les coordonnées GPS du centre d'une placette est aussi une fonctionnalité non prévue, mais ajoutée à l'application. Cette fonctionnalité permet de déterminer également le niveau de précision des coordonnées GPS obtenues.

Réalisation d'une application simple et facile à l'emploi

Une attention particulière a été portée tout au long du projet à faciliter autant que possible la prise de mesures et à limiter le temps nécessaire pour effectuer les relevés. L'interface claire et compréhensible permet à l'utilisateur d'obtenir les données désirées en quelques cliques et de naviguer avec assurance au sein de l'application sans se perdre. Les procédés de mesure développés sont expliqués dans une aide succincte, riche en graphiques explicatifs et qui facilite l'immersion dans l'application. La simplicité d'utilisation a été unanimement appréciée lors des tests dans les cantons et soulignée spontanément par d'autres utilisateurs.

La simplicité d'acquisition de MOTI sur la plateforme Google Play Store est à relever. L'installation gratuite de MOTI sur son smartphone se fait en seulement quelques cliques. Cependant, avant d'utiliser l'application en forêt, un calibrage du smartphone s'impose après l'installation. Même s'il ne dure qu'environ un quart d'heure, le calibrage peut entamer la spontanéité de l'utilisation de MOTI lors du premier usage. D'un autre côté, les procédures de calibrage et de vérification de ce dernier contribuent à la crédibilité et la qualité technique de l'application.

Malgré la simplicité d'utilisation de l'application, il est important de prévoir un certain temps d'entraînement pour effectuer les mesures de manière correcte ; ceci vaut particulièrement pour la mesure de la hauteur des arbres.

Les limitations d'utilisation se situent en particulier au niveau de la batterie des smartphones et dans le cas d'une exposition directe au soleil. La batterie dépend beaucoup des modèles de smartphone, mais généralement, les tests de précision effectués en forêt ont montré que plusieurs heures d'utilisation continue sont possibles, voire une journée entière (p.ex. avec le Samsung Galaxy Note 2). MOTI est relativement peu gourmand en énergie. L'exposition directe au soleil est avant tout problématique pour la mesure de la hauteur et à proximité de la lisière. Dans la plupart des cas, elle peut simplement être évitée en changeant d'emplacement.

Réalisation d'une application qui permette d'effectuer des mesures au moins aussi rapidement qu'avec les instruments conventionnels correspondants, tout en profitant des avantages qu'offrent les smartphones pour rationaliser la prise des mesures

L'application MOTI , utilisable sans attente si le smartphone est en standby, n'implique pas de perte de temps par rapport aux instruments équivalents, d'autant plus que les principes de mesure sont similaires. L'avantage du smartphone est de pouvoir rationaliser les relevés : il n'est p.ex. pas nécessaire de compter mentalement le nombre d'arbres lors de la mesure de G et de N , car l'ordinateur s'en occupe. De plus, il permet une certaine flexibilité, p. ex. avec le libre choix du facteur de comptage pour la mesure de G ou de la surface des placettes à rayon constant pour la mesure de N .

Le temps nécessaire à la prise de mesure avec MOTI a fait l'objet d'une étude dans le cadre d'un travail de Bachelor à la HAFL (Lichtenhahn 2013). Les ordres de grandeur obtenus pour la durée des relevés sont les suivants : environ 1 minute pour la mesure de G , 1-2 minutes pour la mesure de N et 1-2 minutes pour la mesure de h . Les mesures ont été effectuées dans de jeunes plantations denses de teck en Thaïlande. Ces résultats confortent ceux obtenus en préparation de ce projet dans 18 peuplements de « La Lignère » dans la commune de Gland, Canton de Vaud (principalement des futaies de feuillus, dont trois peuplements de perchis ; résultats non publiés).

Réalisation d'une application qui permette d'effectuer des mesures fiables avec un niveau de précision satisfaisant

La prise de mesures avec MOTI est fiable, grâce d'une part à la calibration du smartphone et de la vérification de la précision de ce calibrage et, d'autre part, à une description claire de la manière de procéder pour le relevé des mesures. Toute une série de tests a été réalisée pour étudier cette précision : tests au niveau des capteurs des smartphones, tests au niveau des appareils de mesures dans MOTI et tests de comparaison avec des appareils de mesures conventionnels similaires. Les tests de précision des mesures effectuées avec MOTI sont des plus convaincants, même pour ce qui est de la mesure de h . De plus, les appareils photos et les écrans des smartphones présentent l'avantage de mieux rendre compte de la situation grâce au zoom et à la clarté de l'image reproduite à l'écran (plus forte luminosité qu'à l'œil nu). Si MOTI est au moins aussi performant que le relascope de Bitterlich pour la mesure de G , il ne permet pas d'atteindre la précision d'un Vertex pour la mesure de la hauteur des arbres. Cependant, la précision obtenue de +/- 5% dans la très grande majorité des cas pendant les tests, sans tendance systématique à la sur- ou à la sous-estimation, est tout à fait honorable, surtout si l'on considère les coûts d'acquisition d'un appareil comme le Vertex.

Réalisation d'une application non seulement utile pour les relevés dendrométriques, mais aussi pour leur analyse et leur mise en valeur directement en forêt grâce à l'intégration du modèle de croissance forestière SiWaWa

MOTI intègre les composantes du modèle de simulation de croissance forestière SiWaWa, développé dans le cadre d'un projet antérieur (Rosset et al. 2013b). Cette intégration s'est faite relativement facilement grâce au système modulaire mis en place lors du développement de l'application standalone pour desktop SiWaWa, une conception qui a aussi été appliquée à MOTI. SiWaWa est disponible sous la forme d'une extension que l'utilisateur doit activer dans les options de MOTI. La raison de ce choix est de ne pas confronter l'utilisateur avec un trop grand nombre de fonctionnalités dès le départ et de lui laisser choisir ce qu'il désire avoir en plus des fonctionnalités de base. Sitôt l'option activée, l'utilisateur dispose en un seul clique de toute une

gamme d'informations pertinentes pour la gestion, qui va d'une description détaillée de l'état actuel du peuplement avec la distribution des tiges par classes de diamètres à l'évolution sans intervention sylvicole sur 30 ans du matériel sur pied et du bois mort. La simulation se fait en une fraction de seconde. SiWaWa étant intégré à MOTI, aucune connexion internet n'est nécessaire en forêt.

La possibilité d'effectuer des simulations d'interventions sylvicoles avec MOTI a été abandonnée en cours de projet. Cette fonctionnalité a certes été programmée et testée, mais aucune solution satisfaisante n'a été trouvée au niveau de l'interface utilisateur qui ne surcharge pas l'écran du smartphone en venant s'ajouter aux fonctionnalités de base de MOTI. D'autre part, la simulation d'interventions impliquerait une quantité beaucoup plus importante de données à gérer, ce qui augmenterait significativement la complexité de l'application. Les possibilités de gérer des données sur Android étant encore assez rudimentaires, un effort de programmation de loin pas négligeable aurait été nécessaire. De ce fait, MOTI conserve une identité claire, focalisée sur les inventaires forestiers. La solution la plus simple serait probablement de développer une application SiWaWa complémentaire à MOTI, avec la possibilité d'échanger facilement des données entre ces deux applications. Cette application devrait permettre d'effectuer plusieurs simulations avec différentes interventions, afin de mieux se rendre compte de la marge de manœuvre sylvicole à disposition et des options en présence. Le produit des interventions pourrait être mis facilement en valeur à l'aide d'un modèle de formation des assortiments, tel que celui déjà intégré dans la version Excel de SiWaWa ou SorSim (Lemm et al. 2013).

MOTI contribue à simplifier la mise en œuvre d'inventaires forestiers par placettes

Pour ce qui est des inventaires au niveau des peuplements, MOTI reprend les propositions élaborées dans le cadre du projet SiWaWa (Rosset et al. 2013b) quant au nombre et à la taille de placettes nécessaires pour obtenir la marge d'erreur prédéfinie par l'utilisateur (erreur standard), et ce selon le stade de développement et de la proportion de résineux du peuplement en question. Le descriptif du mode de distribution spatiale des placettes est repris du projet SiWaWa et amélioré. Il n'est pas encore intégré à l'aide en ligne de MOTI, mais le sera au plus tard dans le courant de l'été 2014.

Pour ce qui est des inventaires locaux avec maillage systématique, une aide basique est offerte pour s'orienter par rapport aux coordonnées prédéfinies d'une placette selon sa position actuelle (calcul de la distance jusqu'au centre de la placette et de son orientation par rapport au Nord). Il est possible d'en faire encore plus. Cependant, il est préférable tout d'abord d'analyser les complémentarités avec d'autres applications spécialisées dans ce domaine telles que « Plot Hund ».

Bilan selon la théorie de la diffusion de l'innovation (Rogers 2003, cf. ch. 2.1)

Si trois des cinq critères de la théorie de la diffusion de l'innovation sont remplis, soit l'avantage relatif par rapport à la situation actuelle, un degré de complexité limité et la possibilité de tester l'application avant acquisition , il n'en demeure pas moins qu'un travail doit encore être fait pour deux de ces critères, à savoir les possibilités d'intégration dans l'environnement de travail des utilisateurs et la possibilité de consulter les applications concrètes déjà faites. Dans le premier cas, une solution de synchronisation des données avec un serveur a été mise en place en fin de projet, avec possibilité de consulter ses propres données et celles des membres de son organisation, ainsi que de les télécharger sous format Excel. Les tests sont encore en cours dans les cantons partenaires et devraient mettre en évidence la pertinence d'une telle solution et les améliorations à apporter. Dans le second cas, il est prévu de publier courant 2014 au moins un article en français et en allemand dans une revue professionnelle présentant différents cas d'applications. Il est aussi prévu d'explorer cette année les possibilités qu'offre la mise en place d'un wiki comme plateforme internet participative pour faire vivre et évoluer les connaissances sur MOTI ainsi que ses possibilités et limites d'application grâce aux contributions de ses utilisateurs, mais aussi recueillir les suggestions d'amélioration et de développement futurs. Le contenu de ce rapport technique représente un bon point de départ pour l'établissement d'une telle plateforme communautaire.

7.2 Méthodologie, déroulement et organisation du projet

Le développement de MOTI s'est fait de façon dynamique et concentrée tout au long de l'année 2013, en particulier grâce aux trois workshops organisés avec les représentants des cantons partenaires et aux tests en forêt effectués dans ces mêmes cantons. Ces événements, espacés d'environ deux à trois mois, ont assuré un rythme soutenu de développement et une mobilisation importante au sein de l'équipe de projet.

La technique du maquettage papier s'est relevée particulièrement bien adaptée à la conception de l'interface utilisateur, obligeant les membres de l'équipe MOTI à développer une compréhension commune de l'application sous la forme d'une solution bien pensée et bien équilibrée, pour ensuite être discutée et retravaillée avec les partenaires du projet lors des workshops.

Le développement de MOTI sur plusieurs cycles successifs en augmentant à chaque fois le nombre de fonctionnalités a permis, d'une part, aux partenaires de se faire une idée toujours plus précise de la solution en développement et de donner leur avis à ce propos et, d'autre part, de progresser par étapes dans la complexité du développement de la solution, en la testant continuellement au travers de prototypes toujours plus évolués, la difficulté étant de trouver un bon compromis entre avancement et consolidation.

Si cette manière de procéder a permis d'obtenir de bons résultats relativement rapidement, il n'en demeure pas moins qu'elle a un coût non négligeable par rapport aux coûts de recherche et de programmation, que ce soit dans la conceptualisation de l'interface utilisateur avec un grand nombre d'itérations et de personnes impliquées ou dans l'organisation, la conduite et la consolidation des résultats des workshops, ainsi que des tests sur le terrain dans les cantons partenaires.

Ce projet revêt un fort caractère innovant en faisant appel à une nouvelle technologie que sont les smartphones opérant sur Android et en explorant de multiples facettes de cette technologie, en particulier les capteurs, l'écran tactile de petite taille, la gestion des données sur l'appareil et la connectivité pour assurer l'échange de données vers l'extérieur. Ce caractère innovant implique de faire face à un lot d'incertitudes important tout au long du projet. Il a par exemple fallu développer une procédure de calibrage du smartphone qui n'était pas prévue initialement. La mesure de h a posé un certain nombre de problèmes qui n'ont trouvé leur solution qu'en fin de projet lors des tests en forêt dans les cantons partenaires. La gestion des données et la mise en place d'un module de synchronisation des données ont nécessité une mobilisation de ressources plus importante qu'initialement prévue. Par contre, l'intégration de SiWaWa s'est faite beaucoup plus rapidement qu'escompté.

La grande majorité de ces coûts supplémentaires a pu être compensée par le financement flexible adopté dans ce projet avec la participation des cantons, dont le nombre est passé de trois à sept. Le reste des coûts est couvert par une garantie de déficit allouée par la HAFL en début de projet.

7.3 Perspectives d'avenir

MOTI fait déjà l'objet d'un succès non négligeable si l'on considère le nombre de téléchargements déjà effectués (> 800), son utilisation déjà effective dans la formation forestière (p.ex. HAFL et EPFZ) ainsi que les présentations effectuées aussi bien pour la communauté scientifique que pour la pratique. Si ce démarrage est prometteur, il n'en demeure pas moins de nombreux défis tels que la mise en place d'une communauté d'utilisateurs et de développeurs à même d'assurer l'existence et les développements futurs de MOTI, tant du point de vue financier et du regroupement des compétences nécessaires en informatique, que de l'adéquation de l'application aux besoins de la pratique.

La situation est plutôt positive à court-moyen terme. MOTI fait partie prenante d'au moins deux projets de recherche conséquents (projet européen FOCUS, cf. www.focusnet.eu et projet interdépartemental ForestGlass de la HESB), ce qui permettra de poursuivre les développements de l'application dans certains domaines. Des financements supplémentaires sont aussi possibles par l'intégration d'un plus grand nombre de cantons partenaires du projet. Cependant, un modèle d'affaire plus solide doit être trouvé à moyen terme, en particulier en ce qui concerne la partie internationale du projet.

Les pistes de développements futurs sont multiples :

- développement d'une application pour la plateforme iOS d'Apple,
- augmentation de la flexibilité d'utilisation avec, par exemple, la possibilité de choisir soi-même les essences pour le comptage des arbres,
- augmentation du confort d'utilisation au moyen, par exemple, de la reconnaissance automatique des marques de référence du jalon,
- traitement de nouveaux thèmes, tels que les relevés dendrométriques en futaie irrégulière,
- développement d'une application SiWaWa complémentaire à MOTI.

MOTI est un projet enthousiasmant qui a permis d'explorer les potentialités qu'offrent les nouvelles technologies tout en développant une boîte à outils utile et pratique pour les inventaires à l'intention des forestiers.

Références

- Brand R., 2011. *Potential von Smartphones als Messinstrument für terrestrische Waldinventuren. Ermittlung möglicher Anwendungen und Demonstration am Beispiel einer Applikation für die Winkelzählprobe nach Bitterlich.* Travail de bachelor, Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL), Zollikofen, 41 p.
- Ducey M. J., Gove J. H., Valentine H. T., 2004. A Walkthrough Solution to the Boundary Overlap Problem. *Forest Science* 50(4): 427-435.
- Gollut C., Rosset C., Schütz J.-P., Weber D., 2013. *Effectuer des relevés dendrométriques avec son smartphone.* Réunion CAQ-CAPSIS, Prénovel, 8-10 avril 2013, 24 p.
Présentation disponible sous : <http://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/241763-2d2c0-resource-caqsis.html>
- Greenberg S., Carpendale S., Marquardt N., Buxton B., 2011. *Sketching User Experiences: The Workbook* (1st ed.). Morgan Kaufmann, Waltham MA, 262 p.
- Itoh T., Eizawa I., Yano N., Matsue K., Naito, K., 2010. Development of Software to Measure Tree Heights on the Smartphone. *Journal of the Japanese Forest Society* 92: 221-225.
- Kimmo, K. 2013. *Mobile phone app measures trees from photo.* Finnish Forest Association, 25.10.2013, page consultée le 13.02.2014,
<http://www.forest.fi/smyforest/foresteng.nsf/10256a7420866fd0c2256b0300248b0d/d07954eaab61df79c2257c0f003554b1?OpenDocument&Highlight=0.trestima>
- Kramer H., Akça A., 2008. *Leitfaden zur Waldmesslehre* (5., überarb. Aufl.). J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 226 S.
- Lemm R., Holm S., Thees O. 2013. Bessere Produktions- und Nutzungsentscheide mit dem Sortierungssimulator SorSim. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 164(10): 301-309.
- Lichtenhahn J. 2013. *Inventurkonzept für Teakplantagen als Grundlage des Waldmanagementsystems WIS.2.* Bachelorarbeit. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen, 58 S.
- Microsoft, 2013. *Desktop-Computer und Laptops werden von Tablets und Smartphones nicht verdrängt. Ergebnisse einer aktuellen Befragungsstudie von Microsoft Schweiz.* 10.12.2013, page consultée le 11.02.2014,
<http://www.microsoft.com/de-ch/newsroom/Press/2013/Dec13/Computer-und-Laptops-werden-von-Tablets-und-Smartphones-nicht-verdrangt.aspx>
- Pardé J., Bouchon J., 1988. *Dendrométrie* (2e éd. entièrement ref.). Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Nancy, 328 p.
- Raemy, O. 2013. *Schweizerischer Forstkalender 2014.* Huber Verlag, Frauenfeld, 246 S.
- Rogers M., 2003. *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press, New York, 551 p.
- Rosset C., Schütz J.-P., Brand R., Gollut C., Weber D., Fiedler U., 2013a. *Use of Smartphone technologies to facilitate decision making in the forests.* Forsys 2013, Umeå, 24-26 avril 2013, 19 p.
Présentation disponible sous : http://fp0804.emu.ee/pdf/umea_conference/S5b2%20-%20Christian%20Rosset%20-%20IT%20tools%20on%20smartphones.pdf
- Rosset C., Schütz J.-P., Lanz A., Menk J., Gollut C., Weber D., 2013b. *SiWaWa: Waldwachstums-simulationsmodell der neuen Generationen. Das Waldwachstum für den Praktiker leicht gemacht.* Schlussbericht. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmitteltechnologien (HAFL), eine Studie im Auftrag des Bundesamt für Umwelt (BAFU), 56 S.
- Schönsleben P, 2012. *Integrales Informationsmanagement : Informationssysteme für Geschäftsprozesse : Management, Modellierung, Lebenszyklus und Technologie* (2. vollständig überarb. und erw. Aufl.). Springer, Berlin, 593 p.

ANNEXES

Annexe 1

Tableau comparatif des applications pour smartphone disponibles sur le marché relatives aux inventaires forestiers

Application	Développeur	Fonctions	Langues
Dendromètre	Dr J. Nagel, Université de Göttingen, Allemagne	mesure / estimation rapide de la hauteur des arbres selon deux méthodes qui n'utilisent pas la caméra, mais le bord de l'appareil pour mesurer l'angle entre l'œil de l'utilisateur et les cibles	allemand, anglais, français, espagnol
iHypsometer / iBitterlich	Takashi Itoh, Japon	mesures de la surface terrière et de la hauteur et calcul du volume sur pied avec un coefficient de forme. La version payante de l'application permet d'effectuer des relevés sur une placette d'échantillonnage et d'envoyer les données par courrier électronique. Pas de calibrage	japonais, anglais
Deskis Apps	Deskis OÜ, Estonie	quatre applications permettent respectivement la mesure de la surface terrière, la mesure de la hauteur des arbres, le calcul du matériel sur pied et la navigation. Calibrage nécessaire	estonien, anglais pour les deux premières applications
C7	Université fédérale de Santa Maria, Brésil	plusieurs applications permettent de calculer le volume individuel des arbres de plantation, de saisir des données d'inventaire pour les forêts primaires avec possibilité de sauvegarde sur carte SD, de gestion et d'export des données, de calculer le facteur d'élancement d'après les informations données par l'utilisateur (pas d'instruments de mesure)	espagnol
Plot Hound	Silvia Terra	saisie et gestion de données et mise en valeur statistique (pas d'instruments de mesure). Nécessite une connexion au réseau mobile pour la connexion à un serveur	anglais
Trestima	Trestima Ltd., Finlande	mesure de la surface terrière, de la hauteur d'arbre, détermination de l'essence et calcul du matériel sur pied par reconnaissance d'image, avec interprétation humaine possible ; gestion des données de placettes d'échantillonnage et d'inventaire ; calibrage nécessaire	finlandais, anglais

Annexe 2

Diagrammes principaux du développement du logiciel

Contenu

1	Aperçu	78
2	Cas d'utilisation	78
3	Flux de données	79
4	L'application.....	80
4.1	Composants principaux du système	80
4.2	Navigation dans l'interface	81
4.3	Implémentation sous forme de classes d'objets	84
5	Connexion au serveur	86
5.1	Architecture du système	86
5.2	Synchronisation des données	87
6	Evaluation des smartphones	88
	Environnement de développement	89
	Configuration de l'application	89
	Code source	89
	Processus de développement	90
	Glossaire.....	91

1 Aperçu

Ce document a pour objectif de donner un aperçu des étapes du développement de MOTI du point de vue informatique, en procédant de l'ensemble aux détails. Différents diagrammes UML (Unified Modelling Language, http://fr.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language) ainsi que ... sont présentés à cet effet. Le langage de développement étant l'anglais, les diagrammes sont rédigés dans cette langue.

2 Cas d'utilisation

Le diagramme des cas d'utilisation (Fig. 1) décrit ce que les utilisateurs peuvent faire avec l'application et le système. Chaque ovale représente une tâche que peut accomplir l'utilisateur (le forestier).

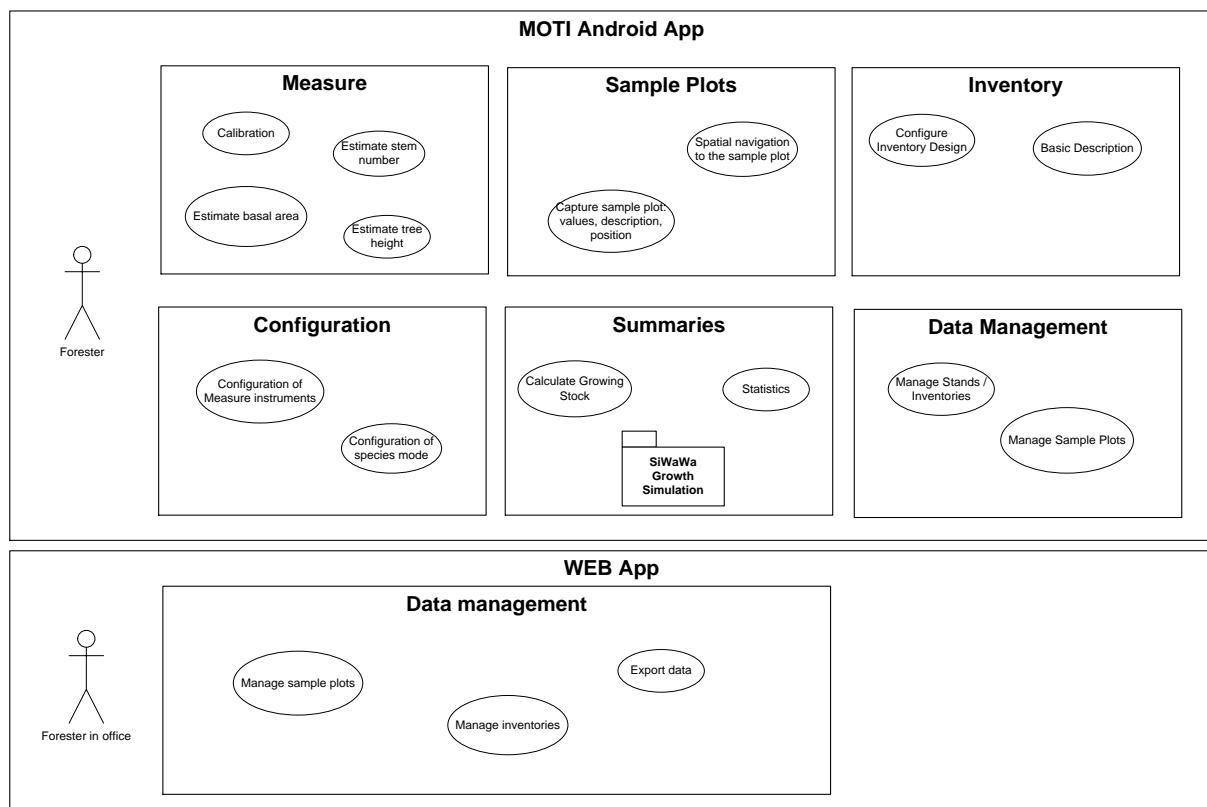


Fig. 1: Diagramme des cas d'utilisation.

Au niveau de l'application MOTI, les tâches incluent :

- la détermination de la surface terrière, du nombre de tiges, de la hauteur d'arbre
- la calibration de l'application
- le relevé et la navigation spatiale entre les placettes d'échantillonnage
- la configuration et la description élémentaire des inventaires
- la configuration des instruments de mesure et du mode essences
- le calcul du volume et l'analyse statistique
- la gestion locale des données d'inventaire

Les actions relatives au serveur incluent :

- la production de rapports
- la gestion en ligne des données synchronisées

SiWaWa est un package intégré à MOTI sous forme d'extension et qui offre l'option de prédire le développement future d'une placette grâce à une simulation.

3 Flux de données

La Fig. 2 représente le diagramme de flux de données dans le système, constitué de l'application (partie supérieure) et du serveur (partie inférieure).

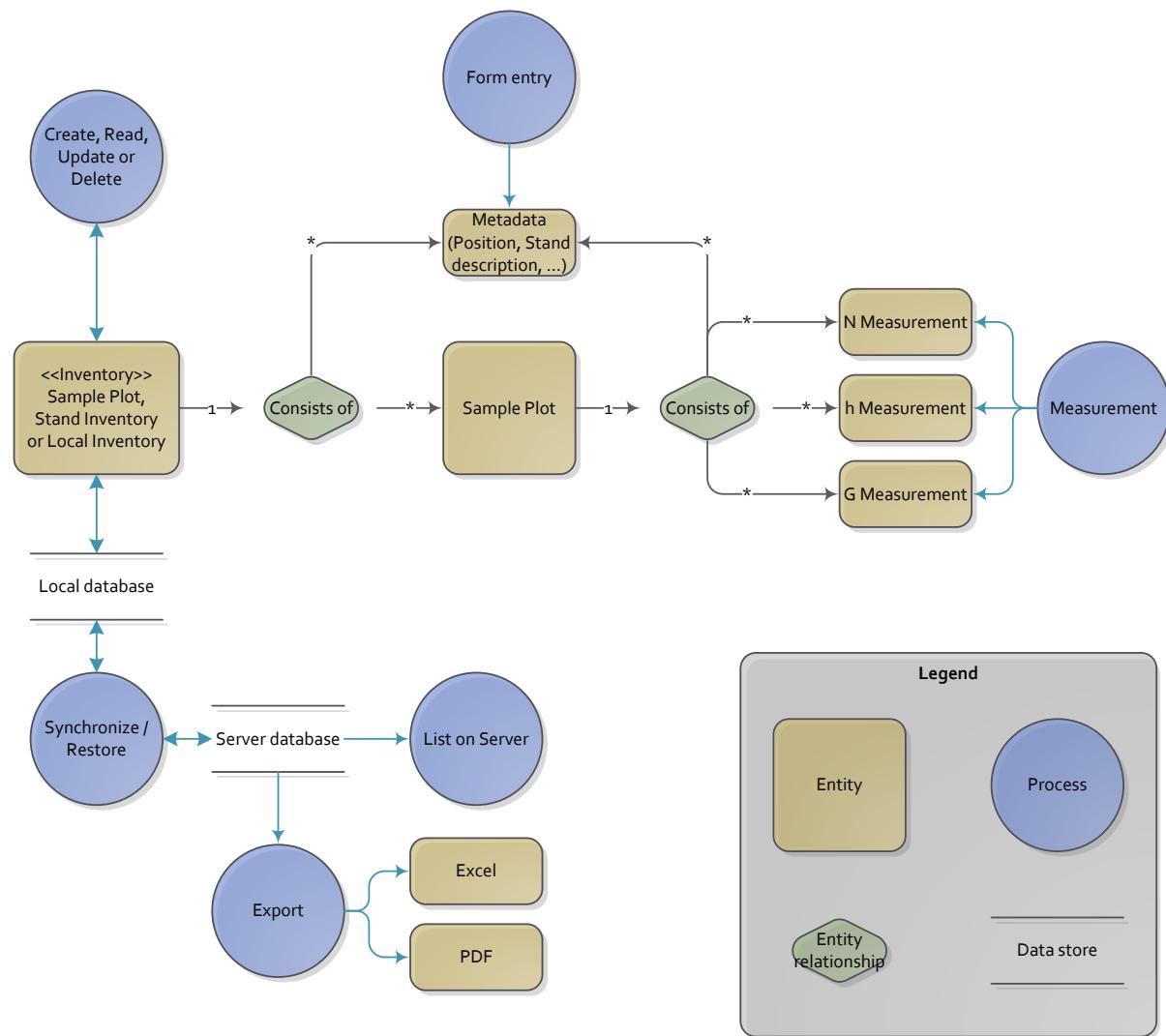


Fig. 2: Diagramme de flux de données du système MOTI.

- Créer un inventaire est un processus. Les données pour ce processus peuvent être issues de deux processus différents:
 - saisie formulaire (p. ex. « stand id »)
 - mesure (p. ex. de la surface terrière)
- Les mesures et les saisies formulaires sont agencées en « Inventory » ou en « Sample Plot », qui sont conservées dans une base de données locale. Elles peuvent être éditées (créer / lire / modifier / supprimer) depuis la base de données.
- Processus de synchronisation des données miroir depuis la base de données locale vers le serveur.
- Le serveur peut gérer ses données; limité pour l'instant à la « lecture ».
- Le processus d'export transforme les données en formats d'interface.

4 L'application

4.1 Composants principaux du système

Le diagramme des paquetages présenté (Fig. 3) montre comment les classes du code source de MOTI sont organisées en paquetages.

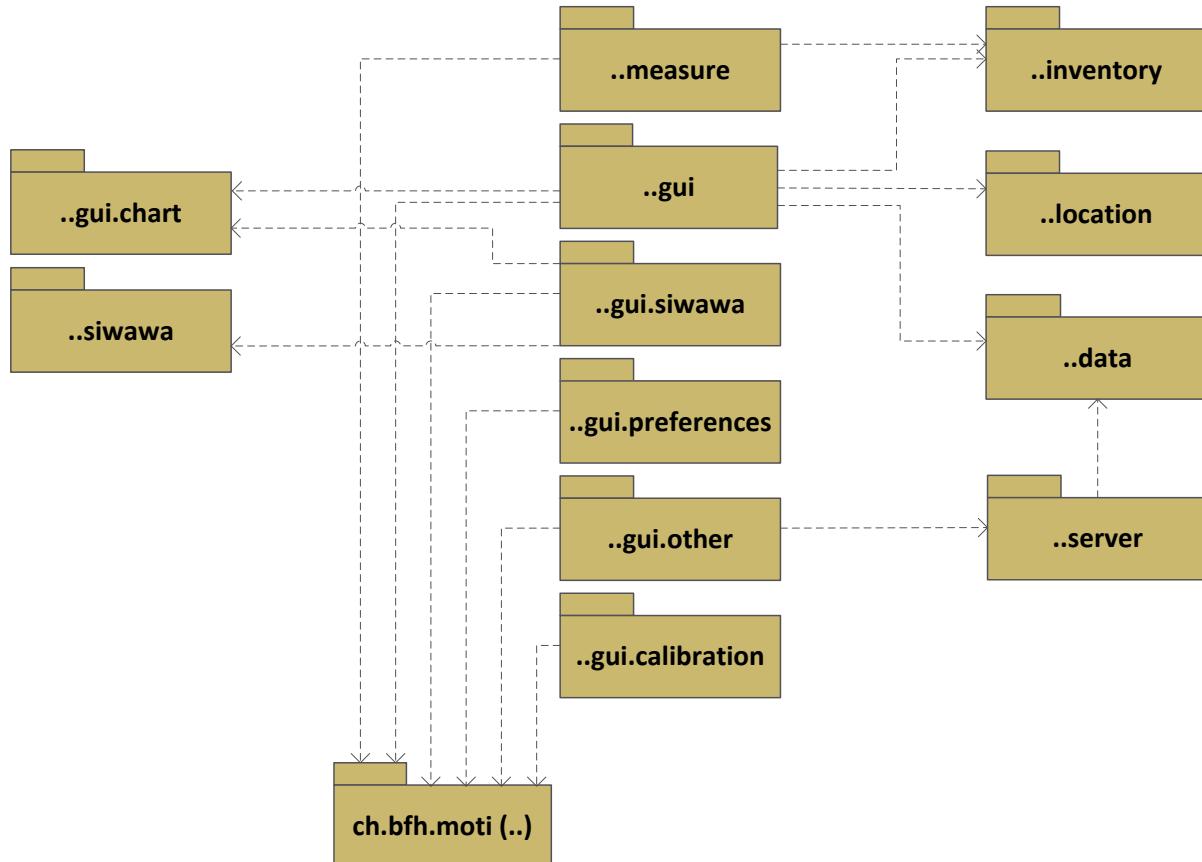


Fig. 3: Diagramme de package de l'application smartphone MOTI. Flèches pointillées = dépendances.

Le paquetage racine ch.bfh.moti englobe l'ensemble des autres paquetages. Leurs usages sont décrits ci-dessous.

ch.bfh.moti	Assistants de base pour les préférences, constantes, enregistrement, validation
..gui.chart	Assistant pour les diagrammes, adaptateur pour AChartEngine (externe)
..siwawa	Classes de base portées de SiWaWa
..measure	Instruments de mesure
..gui	Tous les éléments de menu et de la forme de l'interface graphique pour placettes d'échantillonage et inventaires
..gui.siwawa	Interface graphique pour SiWaWa
..gui.preferences	Préférences
..gui.other	Interface graphique des mentions légales, de la synchronisation, de l'écran d'accueil
..gui.calibration	Interface graphique calibrage
..inventory	Structure des données, modèles de données (inventaire, échantillonage, ...), statistiques
..location	Coordonnées GPS (réponse du système d'exploitation, conversion CH1903/WGS84)
..data	Gestion de la base de données et adaptateur, adaptateur pour OrmLite (externe)
..server	Interface client pour la synchronisation avec le serveur

4.2 Navigation dans l'interface

4.2.1 Instruments de mesure

Le diagramme d'activité (Fig.4) montre le flux des actions pour les instruments de mesure et la détermination du volume. Ce dernier est constitué de deux instruments de mesure.

- BAF = Basal area factor (facteur de comptage)
- La détermination du matériel sur pied nécessite la mesure de la surface terrière différenciée selon les essences.

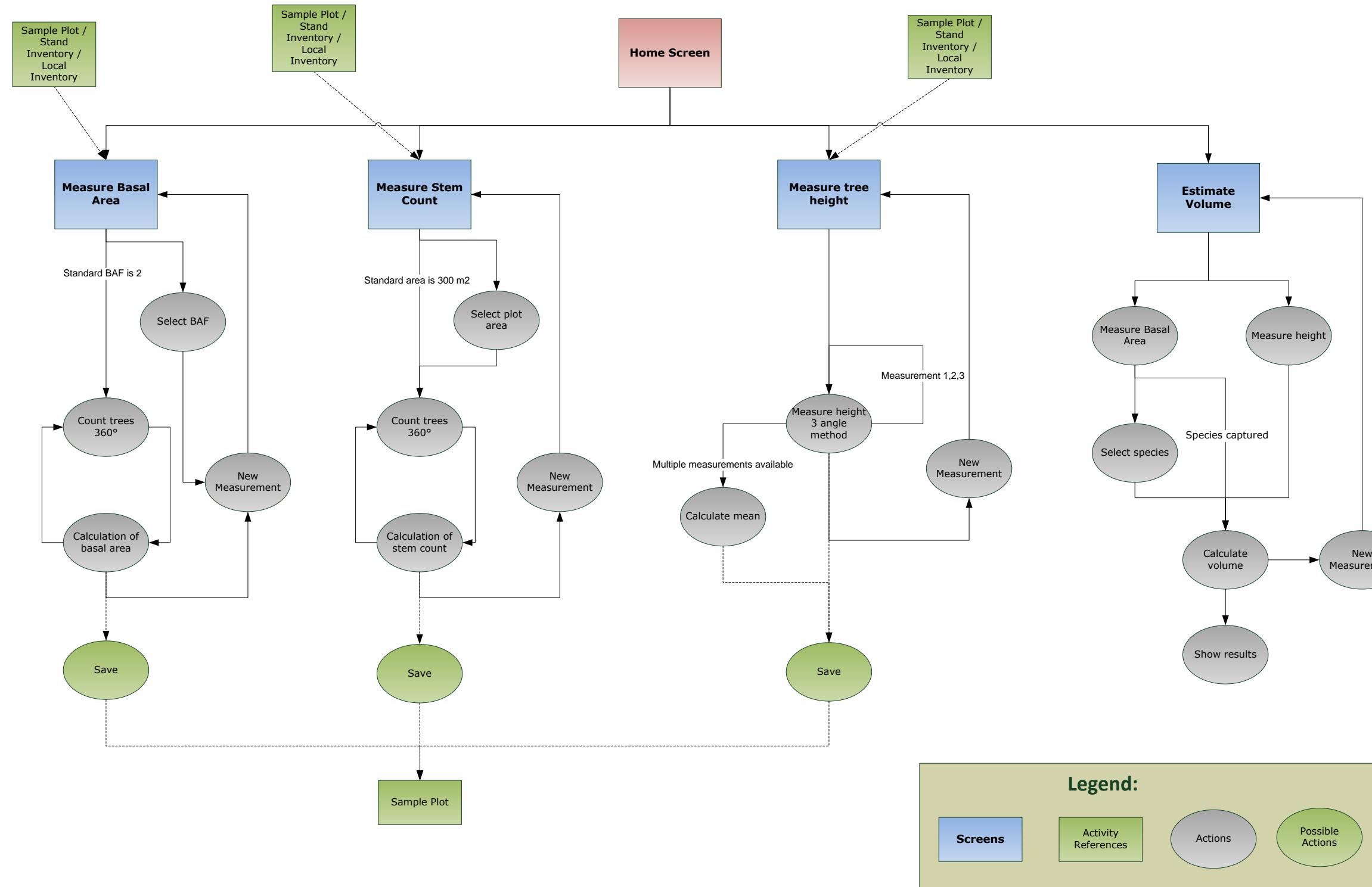


Fig. 4: Diagramme d'activité des instruments de mesure.

4.2.2 Placettes

Le diagramme d'activité illustré à la Fig. 5 se rapporte aux placettes.

- Le point d'entrée est différent selon qu'il s'agit d'une placette unique ou d'un inventaire. Chaque placette est soit indépendante, soit elle appartient à un inventaire de peuplement ou local.
- La navigation par onglet montre différentes perspectives d'une placette. Tous les onglets affichés font référence à la même placette.
- SiWaWa n'apparaît que si l'extension est activée.
- La navigation n'apparaît que si la placette appartient à un inventaire local.

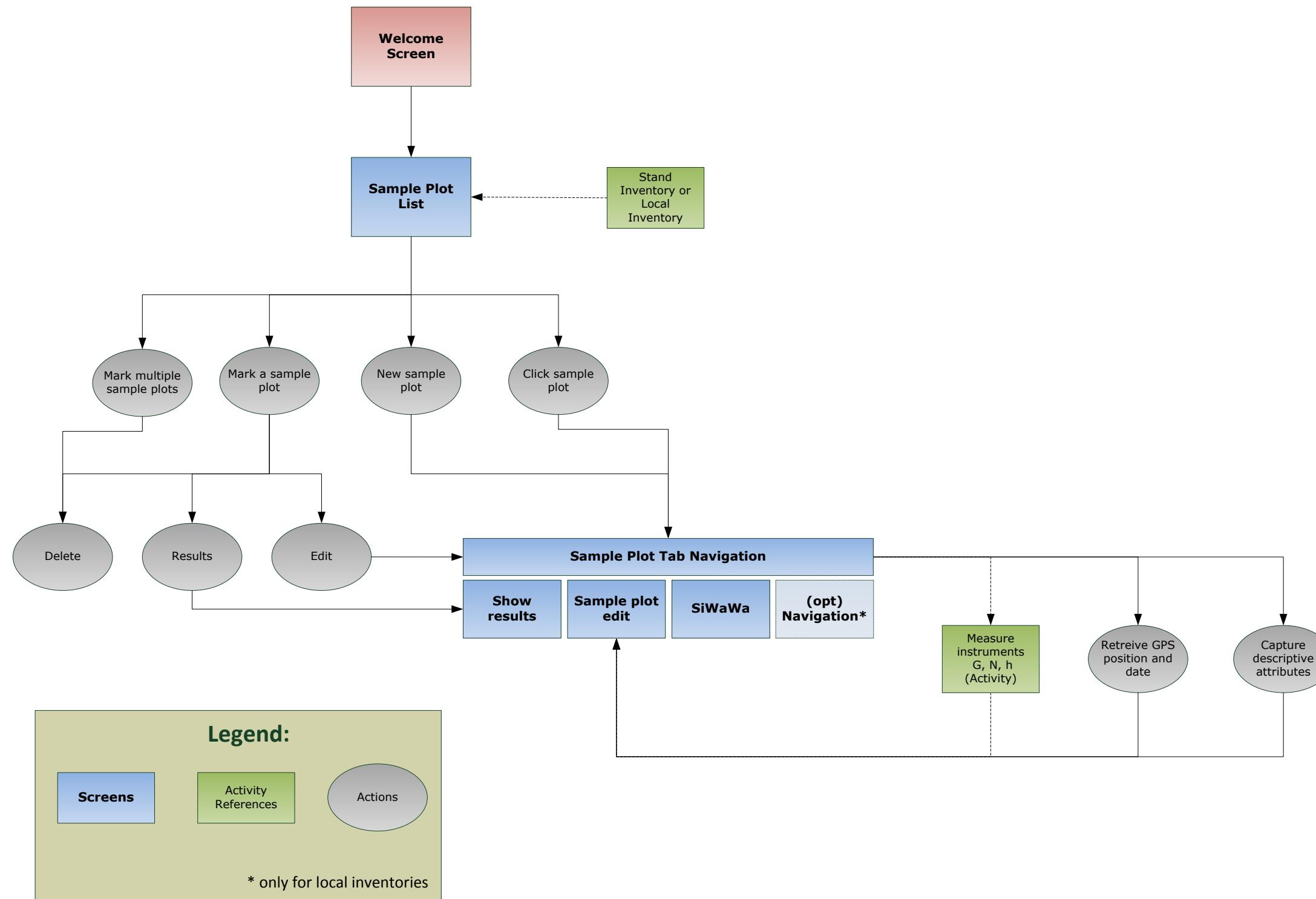


Fig. 5: Diagramme d'activité pour les placettes.

4.2.3 Inventaires par échantillonnage

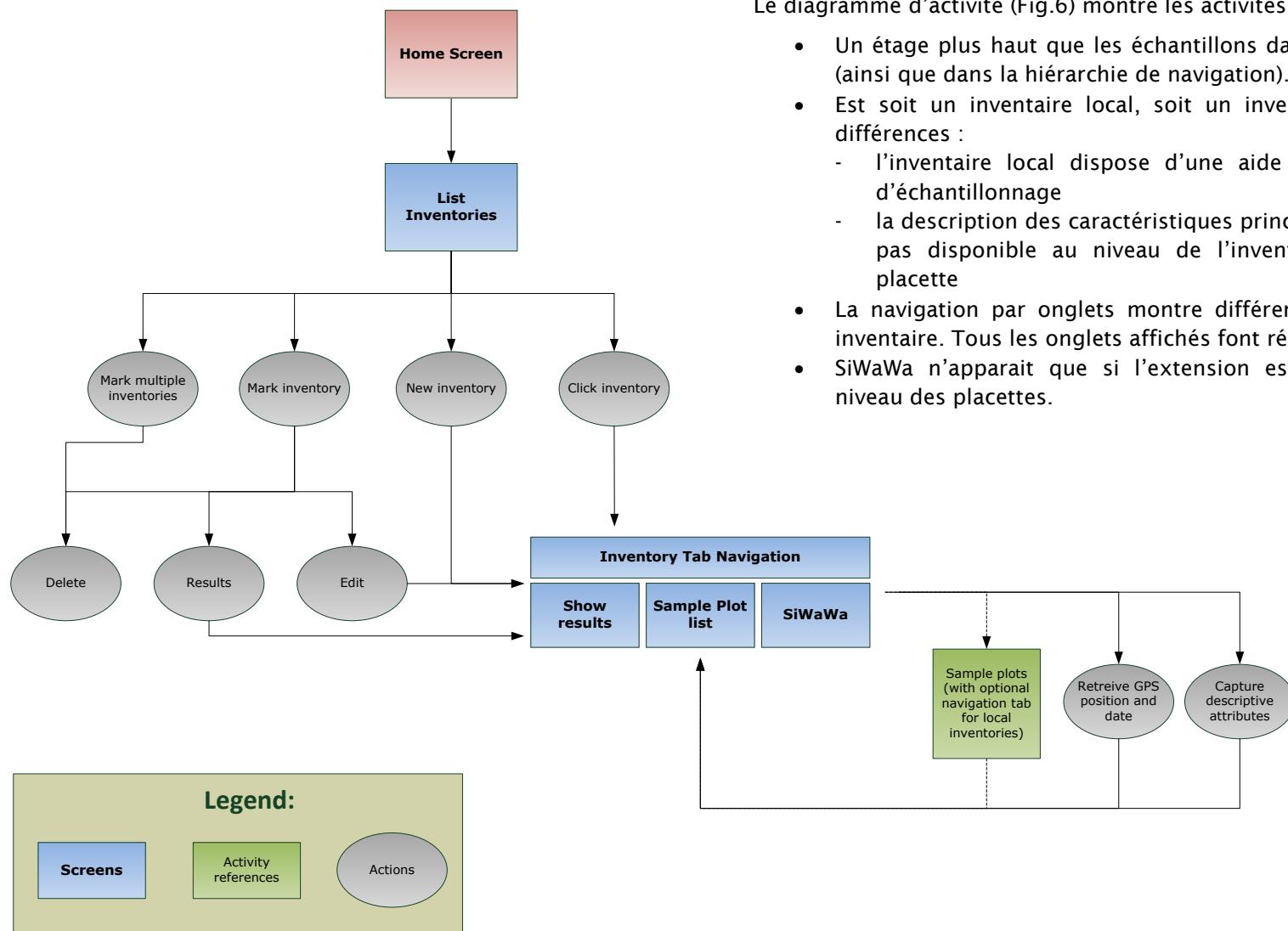


Fig. 6: Diagramme d'activité pour les inventaires par échantillonnage.

4.3 Implémentation sous forme de classes d'objets

4.3.1 Instruments de mesure

Le diagramme de classes illustré à la Fig. 7 décrit le paquetage de base des instruments de mesure de MOTI.

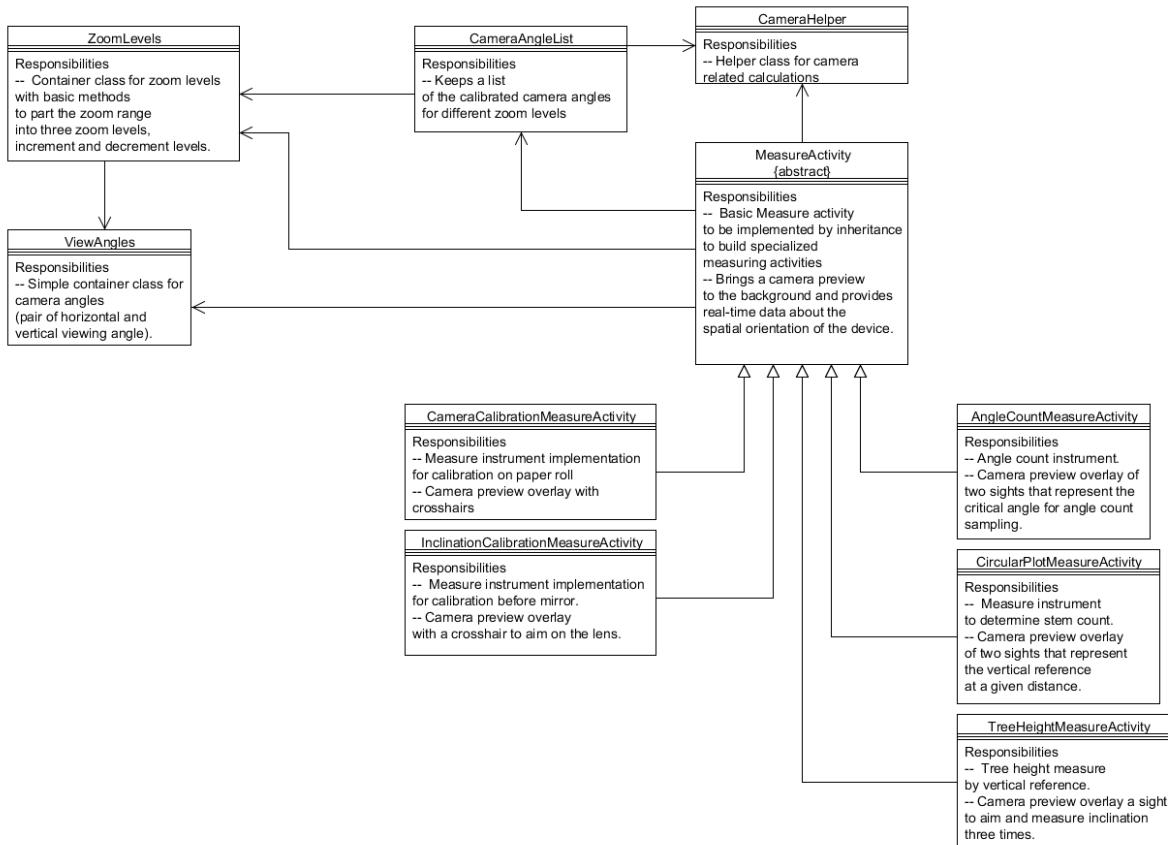


Fig. 7: Diagramme de classes du paquetage des instruments de mesure.

- MeasureActivity met en œuvre les interfaces du système d'exploitation de pilotes des capteurs tels que SensorEventListener pour les relevés continus de l'accéléromètre ou SurfaceHolder pour obtenir un flux vidéo de la visualisation par la caméra.
- Toutes les opérations relatives au matériel (hardware) sont traitées dans MeasureActivity, ce qui explique la taille importante de la classe.
- Le calibrage et les activités de mesure sont des spécialisations de ce MeasureActivity d'usage général.
- L'ajout d'instruments supplémentaires peut se faire relativement facilement.
- Seules les responsabilités sont mentionnées dans ce diagramme.

4.3.2 Le modèle des données client

Le diagramme de classes illustré à la Fig. 8 décrit le modèle des données client, soit au niveau de l'application smartphone.

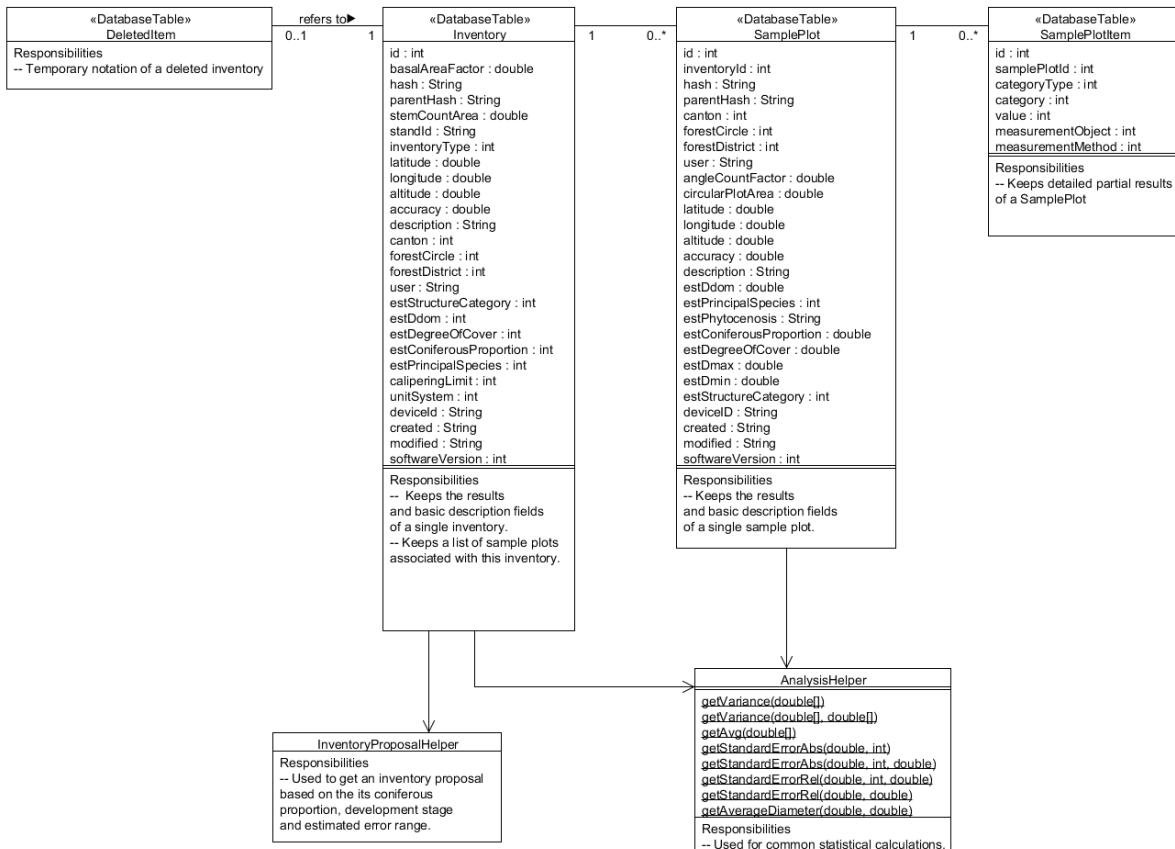


Fig. 8 : Diagramme de classes.

- Tous les attributs des classes de stéréotype <<DatabaseTable>> sont des attributs de la base de données.
- Le DeletedItem à la base est le seul à pouvoir marquer les entrées d'inventaire comme effacées, ce qui est nécessaire pour assurer la synchronisation avec le serveur.
- Un inventaire peut comporter de nombreuses placettes d'échantillonnage (SamplePlots), qui peuvent elles-mêmes être composées de nombreux objets (SamplePlotItems).

5 Connexion au serveur

5.1 Architecture du système

Le diagramme des composants de la Fig. 9 décrit l'architecture du système MOTI avec le client (application Android) et le serveur.

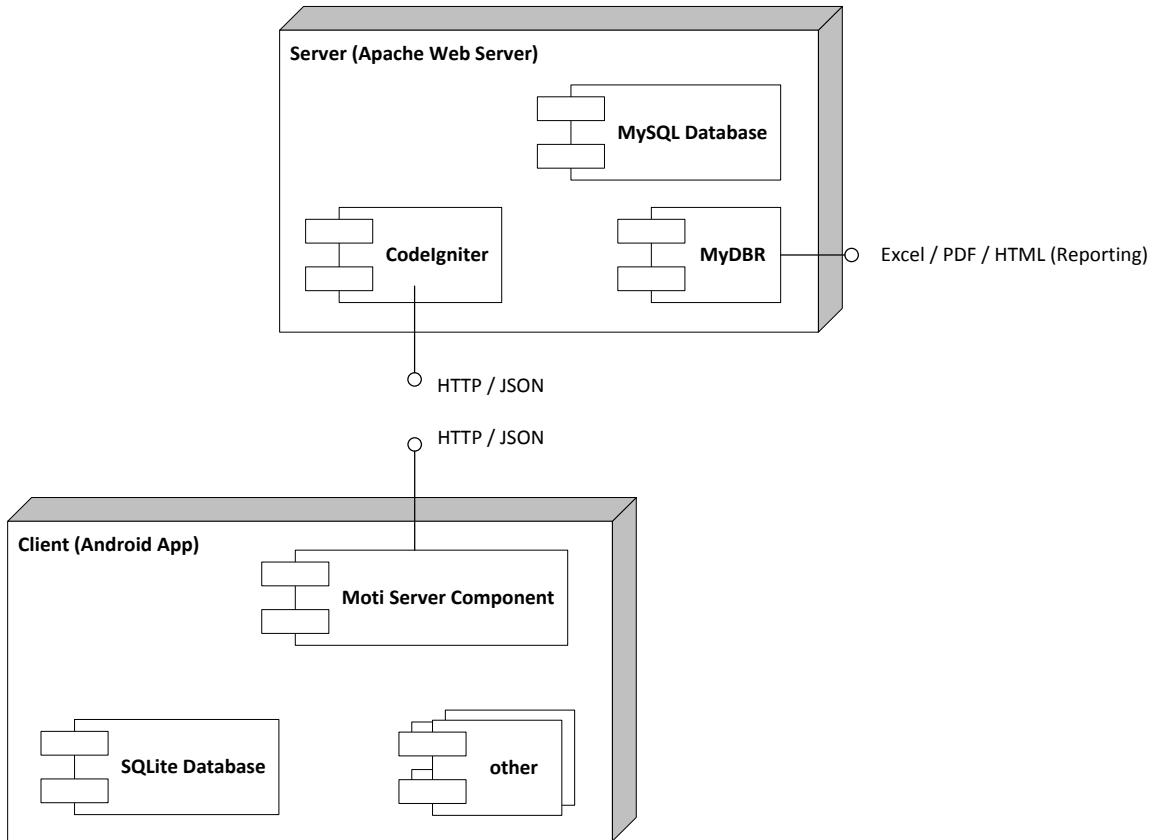


Fig. 9: Diagramme des composants du système MOTI.

- Le client collecte des données et peut les synchroniser avec le serveur.
- La structure des données du client et du serveur est identique.
- L'interface est composée de HTTP GET et HTTP POST, des requêtes en plain texte n'ayant pas été retenues dans le projet pour des raisons de sécurité. Les données sont transmises au format JSON par « paquet » (Inventory).
- Le framework PHP CodeIgniter (<http://en.wikipedia.org/wiki/CodeIgniter>) est utilisé par le serveur pour implémenter l'interface HTTP. MyDBR est un outil de rapports avec lequel les données peuvent être visualisées sur le serveur et grâce à un navigateur.

5.2 Synchronisation des données

Le diagramme d'interactions de la Fig. 10 décrit les deux transactions fondamentales exécutables par le client: téléchargement montant des données vers le serveur (partie supérieure) et récupération des données du serveur (partie inférieure).

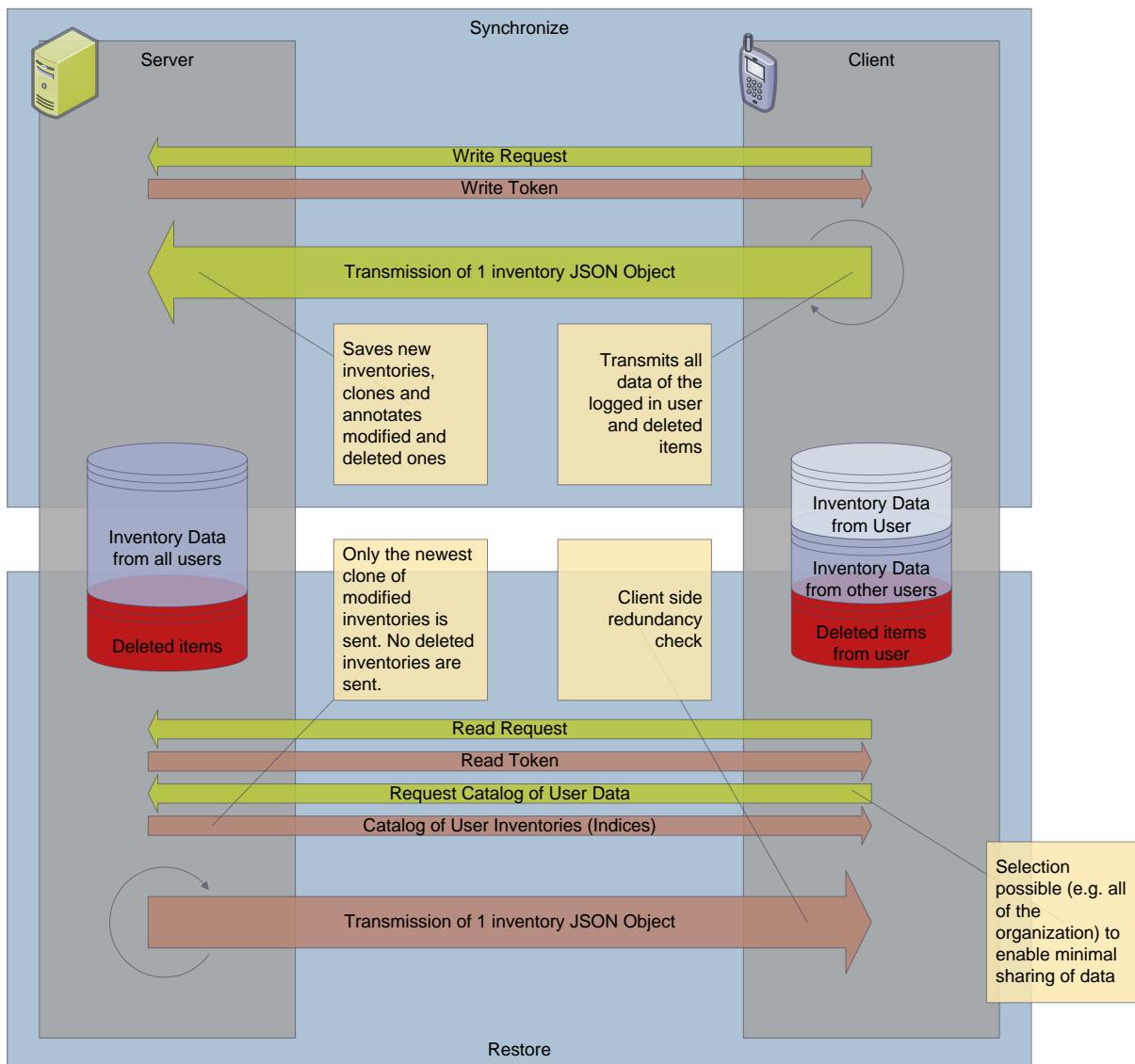


Figure 10: Schéma de la synchronisation des données.

Ces transactions sont implémentées sur du HTTP/JSON.

Sur la base de ces transactions, le client est en mesure de synchroniser ses données avec le serveur. Cette synchronisation comprend la restauration complète des données client en cas de perte ou endommagement des données.

6 Evaluation des smartphones

Une analyse d'utilité a été faite pour choisir l'équipement de test à acquérir pour MOTI.

Les appareils surlignés en vert ont été achetés, pas celui en jaune.

Annexe 3

Guide du développeur

Ce guide a été utilisé pour le développement du logiciel. Il définit l'environnement de développement ainsi que les règles, standards et procédés à suivre pour la programmation.

Environnement de développement

Environnement d'exécution	Java	Version 7 Update 15
EDI	Eclipse	Version 4.2.1 Juno
Modules d'extension EDI	Additional Eclipse Packages	ADT Plugin 21.1.0
		Android SDK 21.1.0
Gestion de versions	Git	Version 1.8.1.2
		Git Extensions 2.46
Débogueur	USB-Debugging avec ADB	ADB 21.1.0
Bibliothèques logicielles de tiers	Chart Engine	achartengine 1.1.0
	GSON Serialization	GSON 2.2.4
	Object-relational mapper	OrmLite 4.4.7

Configuration de l'application

Nom de l'application	moti
Nom du projet	moti
Package racine	ch.bfh.moti
SDK minimum requis	API 14 (Android 4.0)
SDK cible	API17: Android 4.2 (Jelly Bean)
Compilé avec	API17: Android 4.2 (Jelly Bean)
Largeur de tabulation Eclipse	4 (tabulations, pas d'espaces)
Espace de travail Eclipse d'encodage fichiers textes	UTF-8

Code source

Toutes les variables ont été nommées en anglais, d'après le tutoriel Oracle:
<http://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/nutsandbolts/variables.html>

Le préfixe n'a été ajouté que pour les variables de membre de classe, par exemple « mInventory ».

Les classes et les méthodes sont commentées en anglais et en format JavaDoc comme le décrit la page: <http://en.wikipedia.org/wiki/Javadoc>, pour faciliter la documentation entre les développeurs.

Exemple pour un commentaire de classe:

```
/**  
 * Description of the class  
 * @author wbd3  
 */
```

Exemple pour un commentaire de méthode:

```
/**  
 * Description of the method  
 * @param view  
 */
```

Processus de développement

La Fig. 1 présente les étapes principales du processus de développement de la solution informatique.

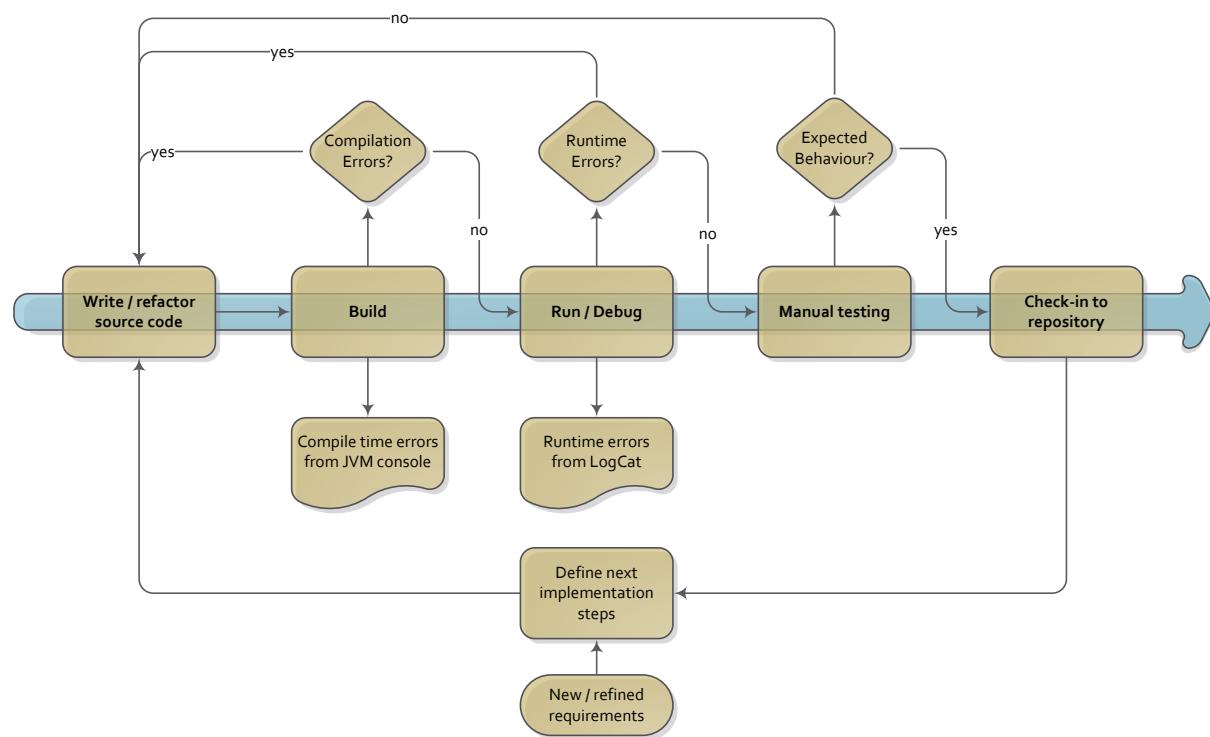


Fig. 11: Processus de développement.

Les normes pour chaque pas du processus sont décrites ci-après.

- Écrire / refactoriser le code source
 - Chaque code doit être examiné par des pairs. Un auteur et un examinateur sont attribués à chaque classe.
 - Revue des classes qui ont été modifiées
- Construire
 - Examen des avertissements, des erreurs, etc.
- Exécuter / déboguer
 - Examen de la sortie de la console

- Tests manuels
 - Examen du comportement sous opération standard
 - Examen du comportement d'une nouvelle fonctionnalité
 - Examen de la sortie de LogCat
- Valider
 - Revue du code là où une nouvelle fonctionnalité est désactivée par un code switch.
 - Ne pas faire des branches dans le Repository (script) sans consulter le responsable de l'assurance qualité (U. Fiedler) et le directeur du projet (C. Rosset).
 - Ne pas valider un code qui provoque des avertissements, des erreurs ou des messages suspects sans vérifier avec le responsable de l'assurance qualité (U. Fiedler).

Glossaire

Console	Entrées / sorties textuelles d'une application Java sans interface graphique, utilisée par la machine virtuelle Java pour afficher des erreurs de compilation.
LogCat	Journal de système Android (utilisé par Android pour afficher les erreurs d'exécution)
Branche	Point de départ d'un développement parallèle (expression de la gestion des versions)
Repository	Conteneur de stockage du code source d'un projet
(Code) Switch	Autre méthode de développement parallèle par laquelle une fonction peut être activée ou désactivée
Build	Processus de compilation du code source en un package exécutable
SDK	Kit de développement logiciel (Software Development Kit)

Annexe 4

Protocoles des 3 workshops avec le groupe
d'accompagnement

Protokoll der ersten Sitzung der Begleitgruppe

Datum: Montag 4. Februar 2013, 13:00-16:30

Ort: Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL
Länggasse 85

Anwesend: A. Arnet, D. Bettelini, R. Brand, U. Fiedler, C. Giesch, C. Gollut, R. Gordon, M. Haider, R. Jenni, A. Lambert, C. Rosset, P. Schibli, J.-P. Schütz, D. Weber, T. Zumbrunnen, S. Zürcher

Entschuldigt: A. Lanz, M. Sautter

Die erste Sitzung der Begleitgruppe hatte zum Ziel, (a) die Erwartungen und Anforderungen der Begleitgruppe bzgl. *moti* zu erfassen und zu diskutieren, (b) das Tool *moti* für die Mitglieder der Begleitgruppe greifbar zu machen sowie (c) das weitere Vorgehen und die Rolle der Begleitgruppe im Projekt zu klären.

Die Erwartungen und Anforderungen der Begleitgruppe an *moti* wurden im Laufe der Sitzung auf einer Pinnwand gesammelt (s. Abb. 1). Nachfolgend werden sie zusammengefasst.

Erwartungen an *moti*

Zielpublikum: *moti* soll prinzipiell für Förster/-innen konzipiert und entwickelt werden. Die Benutzung der App soll selbsterklärend und benutzerfreundlich sein, optimiert für den effizienten Einsatz im Wald (z.B. grosse Schaltflächen, Symbole statt Text, Auswahl-Schaltflächen statt Freitext). *moti* soll auf Deutsch und auf Französisch verfügbar sein, auf Italienisch, falls der Kanton Tessin sich am Projekt beteiligt.

Einsatzbedingungen: *moti* soll bei allen Witterungen benutzt werden können. Die App soll auch bei schwierigen Lichtverhältnissen im Wald einwandfrei eingesetzt werden können (Farben, Kontrast). Der Outdoor-Tauglichkeit der empfohlenen Geräte soll ein besonderes Augenmerk geschenkt werden, Schutzhüllen sollen auch getestet werden.

Hardware: *moti*, oder zumindest Teile davon, soll auch auf Tablets funktionieren. Für gewisse Anwendungen (v.a. NaiS-Erweiterung) wird der Smartphone-Bildschirm als zu klein betrachtet.

Betriebssystem: *moti* sollte nicht nur auf *Android* sondern auch auf *iOS* verfügbar sein. Im Kanton Graubünden besitzen viele Forstleute ein *iPhone* und sollten *moti* auch verwenden können.

Verwendungszweck: *moti* soll prinzipiell die waldbauliche Entscheidungsfindung im Bestand unterstützen, eventuell könnte *moti* aber auch als Mess- und Erfassungsgerät für Inventuren über der Bestandesgröße, z.B. Betriebs- oder Regionalinventuren, eingesetzt werden können.

Aufnahmen: Die Ermittlung der Stammzahl mit *moti* soll, wenn möglich, ähnlich wie diejenige der Grundfläche vom Zentrum der Probefläche aus erfolgen. Im Gebirge kann es schwierig und zeitaufwendig sein, sich um die Probefläche zu bewegen.

Bedienung: In der Praxis steht die Ermittlung des Vorrats im Zentrum, es wird kaum von der Grundfläche gesprochen. Dies soll in der App auch so umgesetzt werden (z.B. „Volumen-Schaltfläche“ auf dem Einstiegsbildschirm).

Unterstützung: *moti* soll bei Bedarf Geodaten im Wald verfügbar machen, z.B. Anzeige der Waldgesellschaft.

Messgenauigkeit: *moti* soll möglichst zuverlässige Werte liefern.

NaiS: *moti* soll die Anwendung der NaiS-Methodik unterstützen (insbesondere Formular 2).

Erfassung und Auswertung: *moti* soll den Kantonen ermöglichen, mit ihren eigenen „Standards“ zu arbeiten. Zum Beispiel sollen die Kantone ihre eigene Bestandesnummer und -codes verwenden können, sie sollen die Bestände anhand eigener Kriterien beschreiben können und die Daten mit eigenen Standards auswerten (z.B. Entwicklungsstufen, Kluppschwelle, usw.).

Weiterverwendung der Daten: Die mit *moti* generierten Daten bzw. Informationen sollen weiterverwendet werden können. Es soll möglich sein, diese Daten zu exportieren, zu speichern und zu verwalten.

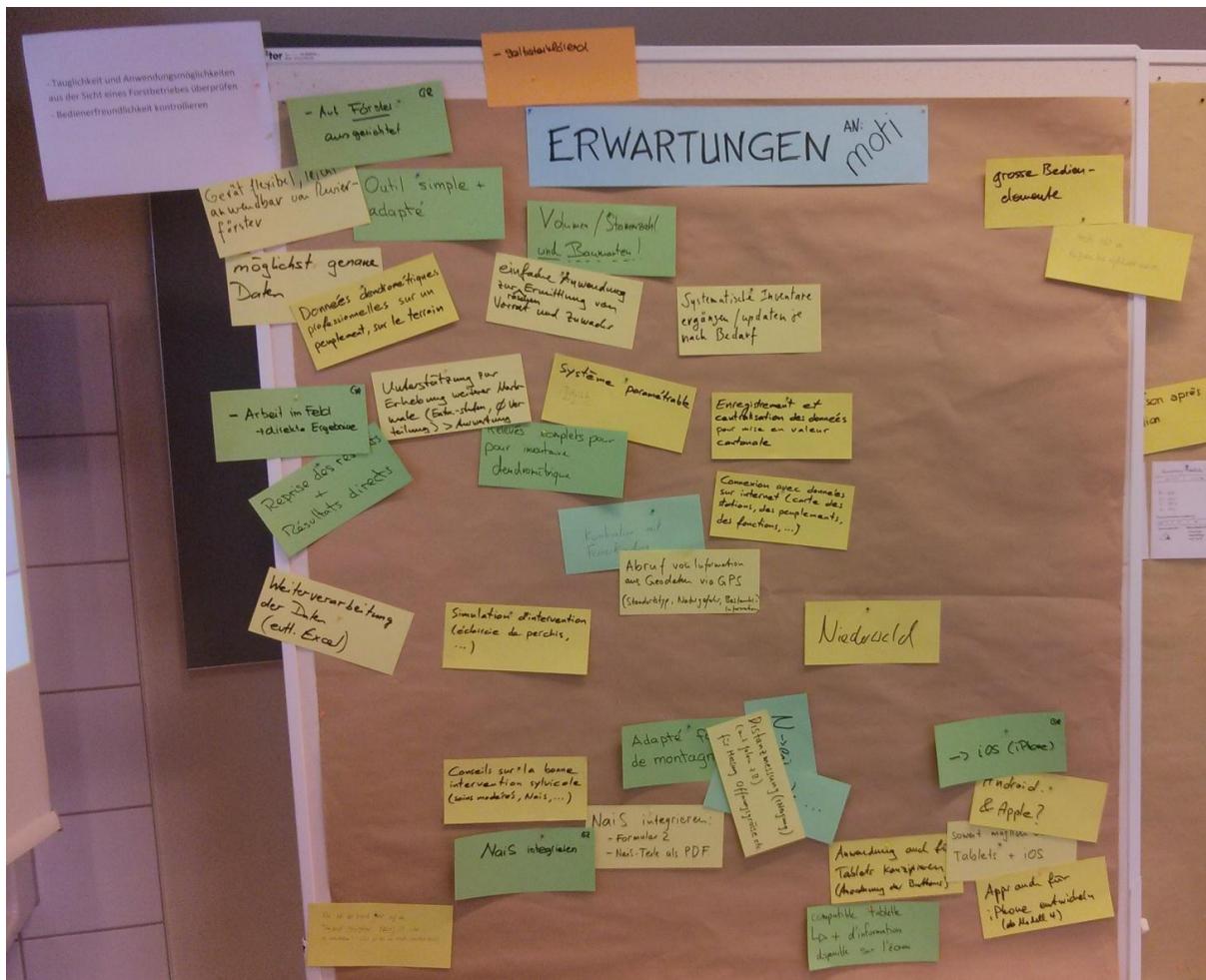


Abb. 1: Erwartungen und Anforderungen der Begleitgruppe an *moti*.

Paper Prototyping

Nach der Vorstellung der vorgesehenen Lösung durch das Projektteam konnten sich die Mitglieder der Begleitgruppe konkret mit der App *moti* befassen im Rahmen einer Gruppenarbeit. Dank „Paper Prototyping“¹ konnten sie den Aufbau der App, die Reihenfolge der Screens und somit der Arbeitsschritte erkunden. Im Rahmen dieser Übung wurden erste Rückmeldungen und Anregungen über die zukünftige App gesammelt (s. Abb. 2). Paper Prototyping wird bei der Entwicklung der Benutzeroberfläche von *moti* immer wieder eingesetzt. Diese Methode erlaubt es, die Arbeitsschritte abzuspielen und somit sicherzustellen, dass die Benutzeroberfläche vollständig, logisch und benutzerfreundlich ist.

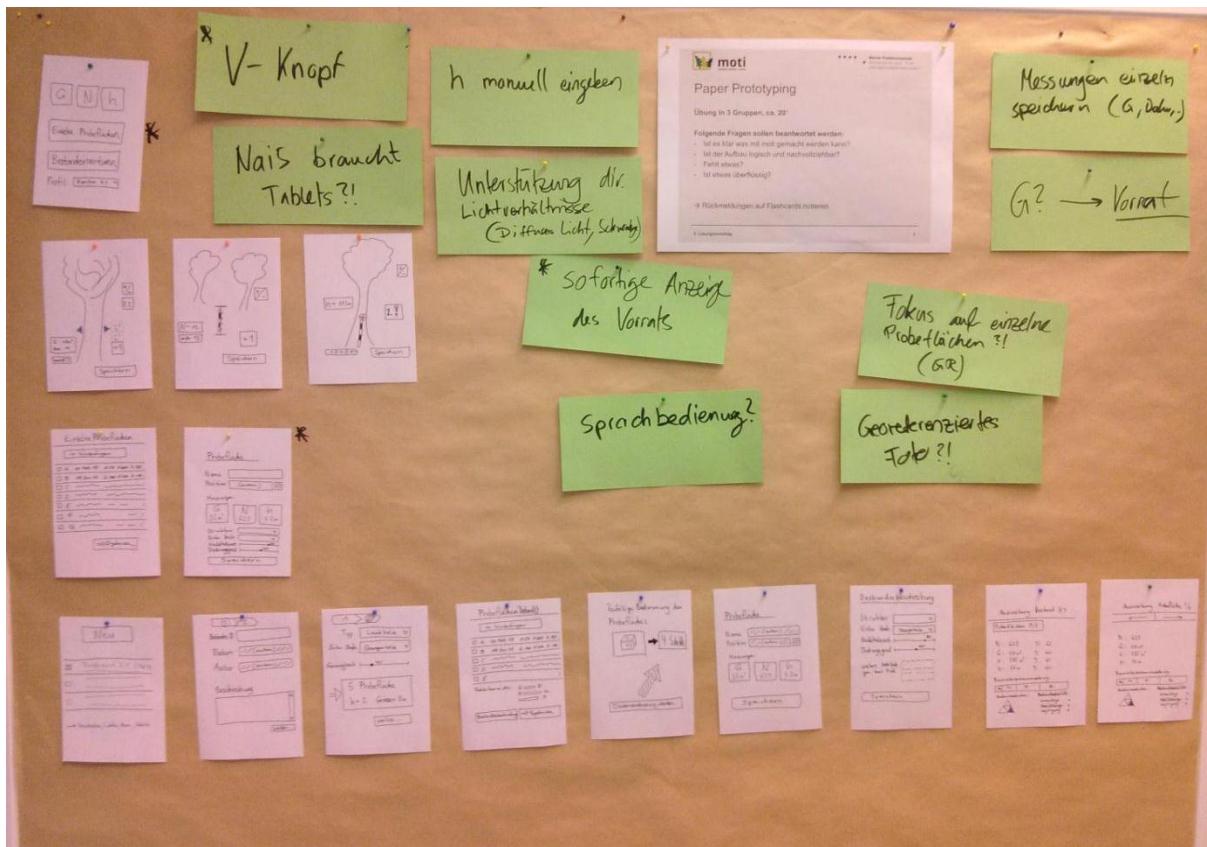


Abb. 2: Ergebnis Paper Prototyping Gruppe 1

¹ Methode für das Design und das Testen der Benutzeroberfläche, basierend auf einfache Handskizzen, welche die Benutzeroberfläche, bzw. die einzelnen Screens der zukünftigen App darstellen. Durch Paper Prototyping wird eine App frühzeitig visuell greifbar und Arbeitsabläufe können abgespielt werden.

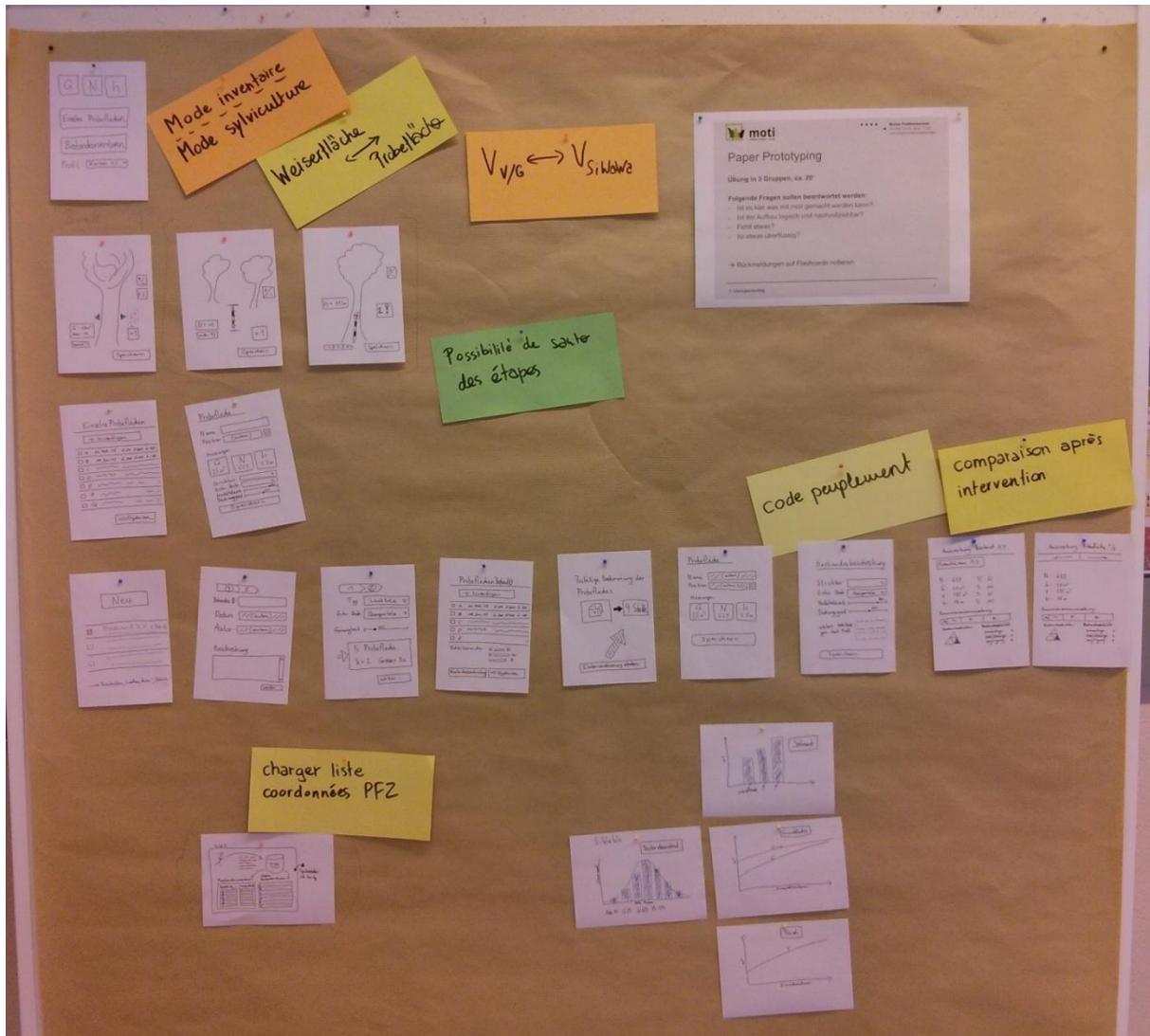


Abb. 3: Ergebnis Paper Prototyping Gruppe 2

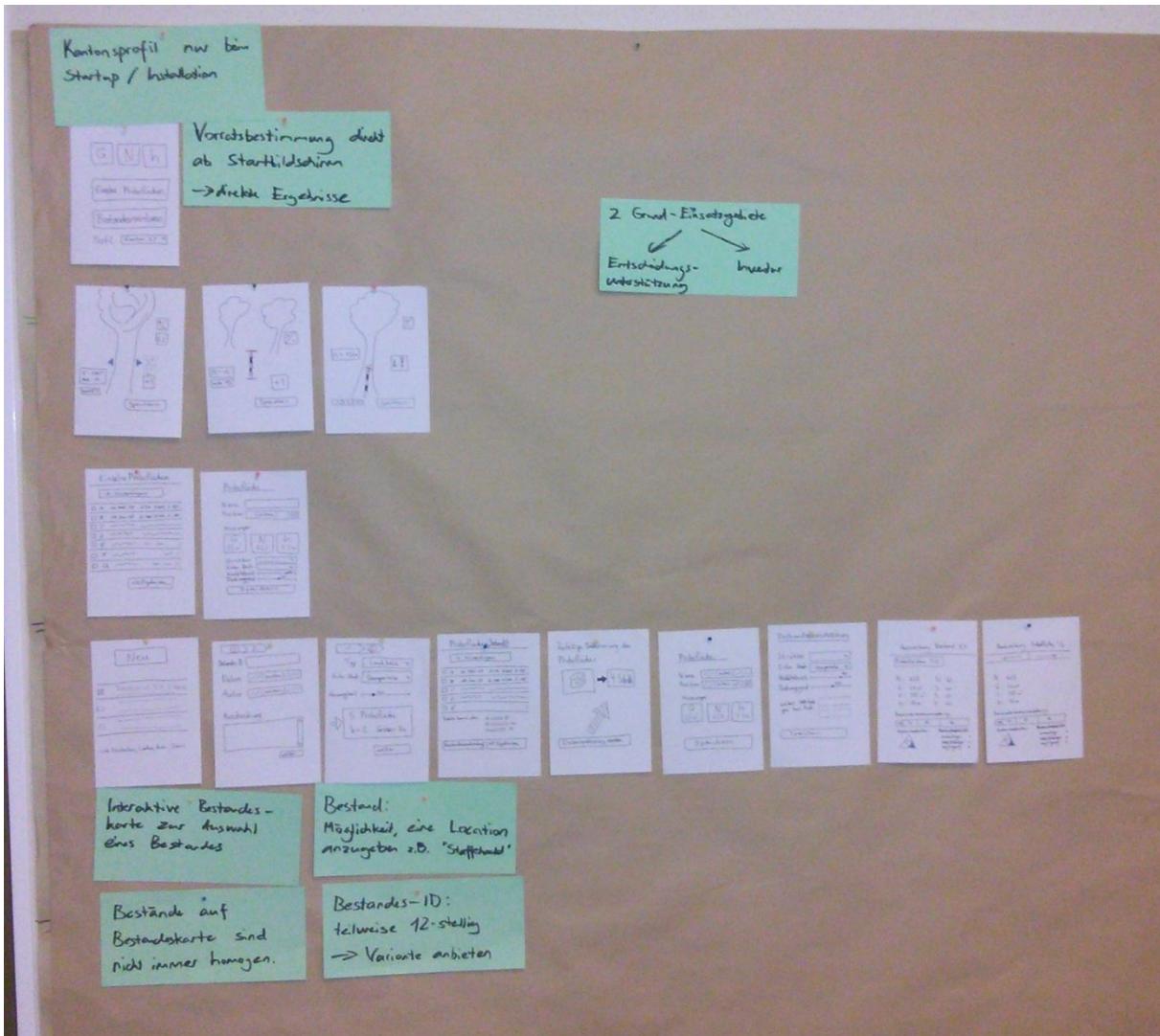


Abb. 4: Ergebnis Paper Prototyping Gruppe 3

Weiteres Vorgehen

Die 2. Sitzung der Begleitgruppe ist im April 2013 vorgesehen. Ziel dieser zweiten Sitzung wird sein, die Konzepte zur Benutzeroberfläche, Inventurdesign und Auswertungen zu verabschieden. Bis zur 2. Sitzung werden die Prototypen zur Erfassung von *N*, *G* und *h* sowie die Benutzeroberfläche getestet und optimiert. Die verschiedenen Tests werden vom Projektteam, Mitarbeitern und evtl. Studierende der HAFL sowie Praktiker-innen aus Partnerkantonen durchgeführt. Das Projektteam wird sich bei den Partnerkantonen nach ihren Wünsche bzgl. zu erfassende Bestandeseigenschaften, Datenexport, mögliche Schnittstellen zu kantonalen Instrumenten (z.B. Bestandeskarte) usw. erkundigen.

Die 3. und letzte Sitzung der Begleitgruppe ist im Juni 2013 vorgesehen. Die Basis-Version der App soll dann als Prototyp vorliegen. Das Konzept zu den Erweiterungen NaiS und SiWaWa wird verabschiedet, wie auch das Konzept zum Vertrieb, Support und Wartung von *moti* nach Projektschluss.

Im August 2013 soll die App *moti* für Partnerkantone und Öffentlichkeit verfügbar sein.

Protokoll der zweiten Sitzung der Begleitgruppe

Datum: Montag 22. April 2013, 09:30-16:30

Ort: Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL
Länggasse 85

Anwesend: A. Arnet, D. Bettelini, R. Brand, U. Fiedler, C. Giesch, M. Haider, R. Jenni, A. Lambert, A. Lanz, Ch. Rosset, P. Schibli, A. Schmocker, J.-P. Schütz, D. Weber, T. Zumbrunnen

Entschuldigt: R. Gordon, C. Gollut

Dieses Protokoll ist ergänzend zur Gesamtpräsentation des Workshops.

1. Einstieg/Zielsetzung

Es erfolgt die Begrüssung durch Ch. Rosset, insbesondere die Ziele des Workshops werden erläutert:

- Stand der Arbeit ist bekannt
- Ersten Prototyp kennen lernen und testen sowie Anpassungsbedarf erfassen
- Weiterentwicklung der Basislösung besprechen sowie Tests im Wald vorbereiten
- Anpassung an die kantonalen Bedürfnisse -> Vorschlag besprechen und verabschieden
- Lösungsvorschläge für die Erweiterungen der Basislösung besprechen und verabschieden

2. Projektfortschritt seit der ersten Sitzung

Messinstrumente (Präsentation von R. Brand)

Die Messinstrumente wurden weiter getestet und optimiert. Fehlerquellen wurden weitgehend identifiziert, und können mit einem einfachen Kalibrierungsablauf entsprechend entschärft werden.

GUI (Präsentation von D. Weber)

Das Paper Prototyping wurde abgeschlossen, und die Entwicklung wurde weitergeführt mit Activity Diagrams (Beschreibung des Bedienungsablaufes für die Benutzeroberfläche) und Wireframing (erste softwaremässige Umsetzung der Benutzeroberfläche).

Beim aktuellen Prototypen der Basislösung wurden die Messinstrumente und die Verwaltung der Probeflächen in einer App vereint, inklusive Kalibrierungs- und Stichprobeneinstellungen.

3. Demo und Test des Prototyps der Basislösung im Wald

In kleinen Gruppen wird *moti* im Wald getestet (Einzelmessung, Vorratsermittlung, Aufnahme einer Probefläche), die Reaktionen der Benutzer werden auf Kärtchen mit bestimmten Farbe protokolliert (rot: Verbesserung; grün: gut, soll behalten werden; blau: Idee für Weiterentwicklung).

4. Feedbackdiskussion bzgl. der Basislösung

Alle Bemerkungen aus dem Test im Wald wurden übersichtlich auf zwei Pinnwände zusammengetragen und anschliessend Schritt für Schritt nach Thema diskutiert. Diese werden im Folgenden kategorisch aufgelistet und mit folgenden Annotationen versehen:

[A] Anforderung [B] Bug beseitigen [I] Idee [V] Verbesserungs- / Erweiterungsvorschlag [Z] zum Abklären

Bedienung / GUI

- [A] Die Schaltflächenpositionierung muss so erfolgen, dass die Buttons mit den Daumen bedient werden können, ohne mit der Hand das Bild zu verdecken (also die wichtigen Schaltflächen im unteren Bereich).
- [V] Allenfalls könnte die Position der Buttons vom Benutzer angepasst werden (Auswahl zwischen verschiedenen Optionen).
- [B] Die Schrift im Resultatfeld ist zu klein. Gilt für alle Messgeräte.
- [B] Es gab Freezes ("eingefrorenes Bild") auf dem Huawei Ascend.
- [A] Visuelles und akustisches, evtl. taktiles Signal beim Druck auf Schaltflächen. Im Moment ist die Unklarheit zu gross, ob ein Knopf (richtig) gedrückt wurde.
- [V] Die zwei Pfeilmarkierungen aus *motiWZP* wurden als besser empfunden als die Fadenkreuze.
- [V] Bei der Festkreisprobe sollte intuitiv ersichtlich sein, ob das Jalon grösser oder kleiner als das Visier sein muss, damit man den jeweiligen Baum zählt. Das GUI sollte diesbezüglich optimiert werden.
- [V] Bei der Höhenmessung wäre eine Schaltfläche statt deren drei evtl. intuitiver. Durch Änderung von Farbe und Text wird signalisiert, welcher Punkt (Boden, obere Marke, Baumspitze) gemessen werden soll.
- [V] Kein Kreuz, sondern eine horizontale Linie als Visier wäre eventuell besser für die Höhenmessung.
- [Z] Bildschirm-Orientierung für Baumhöhenmessung überprüfen (momentan Portrait - evtl. wäre Landscape sinnvoller, stabiler für die Bedienung).
- [B] Ein versehentlicher Ausstieg aus dem Programm per Backbutton erzeugt einen Datenverlust.
- [Z] Besitzer eines iPhones sind sich die Swype-Gesten (mit den Finger über den Bildschirm „wischen“) gewöhnt, vielleicht sollte man abklären ob man Gesten unterstützen möchte.
- [A] Bei Fehlbedienungen sollte man immer die Eingaben korrigieren können.

Messung

- [V] Für Winkelzähl- und Festkreisprobe, statt beim nächsten Baum zu beginnen, könnte mit einer 360°-Kreisanzeige die Startposition visualisiert werden.
- [V] Die Jalonreferenz erzeugt einen sehr spitzen Winkel. Eine grössere Referenz würde allenfalls einen kleineren Fehler erzeugen.
- [Z] Effekte/Einfluss des Bildstabilisators ev. untersuchen. -> Werden die Messresultate verfälscht?
- [V] 1. Alternative Messmethode für die Baumhöhe (ebenfalls zur Verbesserung der Genauigkeit):
Es werden die Neigungswinkel zum Baumfuss und zur -spitze aus einer festgelegten Distanz gemessen. Die Distanz könnte auf gleiche Weise wie bei der Festkreisprobe ermittelt werden. So würde ein Teil der Winkel mit der Kameraöffnung gemessen anstatt mit Orientierungssensoren -> genauer

[V] 2. Alternative:

Zweistufige Höhenmessung als Vorschlag. Zuerst einen markanten Teil des Baumes auf ca. 5-10 m Höhe (z.B. den Kronenansatz) messen, dann diese Höhenmessung für die Messung der Baumspitze verwenden (anstatt der Höhe des Jalons). Könnte zu genauere Messresultaten führen -> ist zu überprüfen

- [A] Instruktion für seitlich geneigte Bäume. -> Das Jalon muss im Lot unter der Baumspitze angebracht werden. > muss in der Bedienungsanleitung festgehalten werden
- [V] Für *SiWaWa* nur die Hauptschicht berücksichtigen, und zwar mit Kluppschwelle 0 cm
- [I] Durchmesser des grössten Baumes (d_{max}) erfassen, um die Weibull-Verteilung besser am Bestand anzupassen (*SiWaWa*)

Gebrauchsanleitung

- [A] Tricks und Kniffe sollten dokumentiert werden. Vor allem Beispiele, wie man das Smartphone am besten hält, für die die sich das nicht gewöhnt sind.
- [V] Piktogramme wie bei *motiWZP* haben sich als sehr hilfreich erwiesen und wären sehr erwünscht.
- [V] Wird die App zum ersten Mal gestartet sollte ein kurzes Tutorial und anschliessende Tipps eingeblendet werden. Die Tipps sollten sich über eine Checkbox oder das Menü deaktivieren lassen.
- [V] Eine Erklärung, warum man das Gerät am Jalon abstützen/führen sollte, wäre hilfreich.

Praktikabilität

- [A] Die Vorratsmessung sollte eine Genauigkeit von +/-30m³/ha erreichen (grobe Einschätzung M. Haider)
- [Z] Es sollte noch klarer werden, wie geeignet *moti* in schwierigen Bedingungen ist. Dazu gehören:
 - Einsatz im Unterholz und Mischwald
 - Einsatz in Föhrenbeständen
 - Einsatz bei sehr viel Licht
 - Einsatz im steilen Gelände
- [Z] Im steilen Gelände könnte eine Festkreisprobe vom Zentrum aus eine Alternative sein. Eine Lösung liegt konzeptionell vor, welche aber ungenauer sein dürfte.

Sonstiges/Ideen

- [A] Es sollte eine Liste mit unterstützten Android-Geräten erstellt werden. Es kann nur eine beschränkte Anzahl Geräte ausführlich getestet werden.
- [I] Als Stabilisierung des Smartphones könnte man eine ähnliche Halterung wie beim Wyssen-Kompass verwenden.
- [I] Bei der Stammzahlermittlung könnte die Distanz mit einem Laser überprüft werden.
- [I] Direkte Messung des Vorrates/Volumens ev. über Stammvolumen (Methode nach Hirata, vertikale Winkelzählprobe).
- [V] Eine Ermittlung des Astvolumens zur Abschätzung des Energieholzanfalls wäre sehr nützlich.

5. Lösungsvorschläge für die Weiterentwicklung der Basislösung

App (Präsentation von D. Weber)

Die nächsten Schritte bestehen aus der Konsolidierung und Fertigstellen der bereits vorhandenen Komponenten. Die Bestandesinventur und die lokale Inventur werden implementiert.

Testing (Präsentation von U. Fiedler)

Die Basislösung wird von den Entwicklern selbst umfangreich getestet. Weiter soll nach dem dritten Workshop ein breiteres Publikum ins Testing einbezogen werden (Beta-Tests).

6. Anpassung an die kantonalen Bedürfnisse (Präsentation Ch. Rosset)

Ch. Rosset präsentiert die Ergebnisse der Befragung bzgl. der Anpassung von *moti* an die kantonalen Be-dürfnisse. Er erarbeitet eine für alle am Projekt beteiligen Kantone gemeinsame Attributliste für die Detail-beschreibung der Bestände und schickt sie den Kantonen zur Stellungnahme.

7. Lösungsvorschläge für die Erweiterungen

iNais (Präsentation von J.-J. Thormann)

J.-J. Thormann präsentiert einen ersten Entwurf für die Umsetzung eines *iNaiS* Prototypen für Tablets und ev. Smartphones.

SiWaWa (Präsentation von Ch. Rosset)

Es bestehEN grundsätzlich zwei Möglichkeiten der Funktionsumfang von *SiWaWa* im Projekt *moti* zu integrieren: einerseits direkt in der App *moti* für die Auswertung des Ist-Zustandes eines Bestandes (Stammzahlverteilung nach BHD-Klassen, Vorrat, Sortimente), anderseits als selbständige App mit der gleichen Funktionalitätsumfang wie die aktuelle Windows-Anwendung, inkl. Sortimentsbildung, mit der Möglichkeit einfach aus *moti* Bestandesdaten zu übernehmen. Grundvoraussetzung für die Auswertungen mit *SiWaWa* sind: G, N, Bonität oder hdom, sowie mindestens 85% für Fi/Ta bzw. Bu bzw. Es/BAh.

Webanbindung (Präsentation von Ch. Rosset)

Für die Datenhaltung der Stichproben wird eine Serverlösung vorgeschlagen. Es ist keine Verschlüsselung und nur eine einfache Authentifizierung erforderlich, da keine sensitiven Daten vorhanden sind. Ein detaillierter Vorschlag der Lösung wird im kommenden Monat erarbeitet und den Kantonen verschickt zur Stellungnahme.

8. Schlussdiskussion

Erneut wird über die Vor- und Nachteile von Smartphones vs. Tablets diskutiert, mit keinem klaren Ergebnis. Ch. Rosset bekräftigt den Vorschlag vom ersten Workshop, *moti* sowohl für Smartphones wie Tablets zu entwickeln, mit erster Priorität für Smartphones.

Protokoll der dritten Sitzung der Begleitgruppe

Datum: Freitag 05. Juli 2013, 09:30-16:30

Ort: Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL
Länggasse 85

Anwesend: Arnet A., Brand R., Caillard I., Fiedler U., Jenni R., Lambert A., Rosset Ch., Schütz J.-P.,
Weber D., Scmocker A. Zumbrunnen T.

Entschuldigt: Bettelini D., Giesch C., Gordon R., Haider M., Lanz A., Schibli P.

Contenu

1. Einstieg und Zielsetzung	103
2. Messinstrumenten	103
3. Prototyp	104
4. Demo und Test des Prototyps im Wald	105
5. Feedbackdiskussion bzgl. dem Test auf dem Feld	105
a) Positive Punkte zu halten:	105
b) Wichtige Punkte zu verbessern:	105
c) Wünsche und Vorschläge:	106
6. Erweiterungen	107
a) Web-Applikation	107
b) SiWaWa	107
c) NaiS	108
7. Anpassung an die kantonalen Bedürfnisse	108
8. Businessmodell	108
9. Schlussdiskussion und weiter Vorgehen	108
10. Zusammenfassung des Feedback und Pendenzliste	109

1. Einstieg und Zielsetzung

*Begrüssung, Fortschritte, Ziele, Ablauf / Methodik
Siehe PowerPoint Ausdruck im Anhang 1, S. 1-3*

Der Prototyp wurde konsolidiert:

- Die Benutzeroberfläche mit den Messinstrumenten wurde verbessert, was die Form, die Anordnung und die Anzahl der Knöpfe betrifft.
- Intern wurden informatischen Tests und Testsprotokollen im Büro und im Wald durchgeführt. Der Kalibrierungsprozess ist komplexer geworden um gewisse Fehlern auszugleichen. Die Kalibrierung erfolgt jetzt in 10-15 Minuten.
- Präzisionstests wurden ergänzt mit der Berechnung der Grenzdistanz der Bäume. Eine befriedigende Genauigkeit wurde festgestellt.
- Neu ist eine GPS-Funktion integriert.
- Die MOTI-App hat eine dritte Stufe erreicht: Inventuren werden jetzt auf der Bestandesebene durchgeführt und lassen sich mit absoluten Werten und Fehlerbereich berechnen.

Dieser dritte Workshop mit der Begleitgruppe könnte diese neue Anwendungsebene testen. Unter anderen wurden auch folgenden Themen besprochen: Synchronisation mit einem Server, die einen Daten-Backup ermöglicht, sowie den Download von nicht eigenen Daten; gemeinsame Attributenliste für die Kantone; die verschiedene Erweiterungen mit einer Webapplikation, SiWaWa und NaIS.

2. Messinstrumenten

Vorstellung der neuen Benutzeroberfläche, des Kalibrierungsassistent, des GPS und der Ergebnisse der Tests.

Siehe PowerPoint Ausdruck im Anhang 1, S. 4-9

Folgende Punkte bezüglich der Benutzeroberfläche bei den Messungen wurden gemäss den Bemerkungen am letzten Workshop erarbeitet:

- Die Knöpfe sind jetzt tiefer und auf der Seite hingestellt.
- Eine Schwingung weist den Benutzer auf seinen Knopfdruck hin.
- Die Schrift ist grösser.
- Am Druck der Backspacetaste erscheint jetzt ein Pop-up Fenster, so dass die Daten irrtümlich nicht verloren werden.
- Bei der Winkelzählprobe kann man immer wichtige Parameter wie die Höhe und neue andere Knöpfe sehen.
- Bei der Höhemessung mit der Messstange sind auch die Parameter konstant angezeigt. Diese Messung erfolgt mit dem vertikalen Halten des Gerätes; außerdem wird man eingeladen, an drei verschiedene Punkte zu messen (Boden, Messstange und Spitze des Baumes). Der letzte Druck kann beim Fehler wiederholt werden.

Kalibrierung:

- Der Kalibrierungsassistent fährt bei der Öffnung der App hoch.
- Der zweite Schritt des Kalibrierungsprozess (Bildwinkeln) wird für jede Zoomstufe wiederholt, das heisst vier Mal.
- Die Kalibrierung muss für jedes Gerät gemacht werden, auch wenn es sich um dasselbe Model handelt.
- Zum Moment schlagen wir vor, sich die Daten der Kalibrierung auszuschreiben, da sie mit der Aktualisierung verschwinden.

Tests für die Prüfung der Genauigkeit:

Siehe PowerPoint Ausdruck im Anhang 1, S. 9-14

- Die Grenzdistanz bei der Grundfläche wurde für die vier Zählungsfaktoren (1, 2, 4 und 8) und für sieben Durchmesserklassen (0-10, 10-20, ... bis zu über 70 cm) mit drei Geräte (zwei Samsung und ein LG) getestet. Das Zoom erlaubt eine gute Schätzung, auch wenn der Baum weitentfernt ist.
- Die Grenzdistanz für die Berechnung der Stammzahl wurde für verschiedene Grösse der Probeflächen, Zoomstufen und Höhen der Merkzeichen auf der Messstange mit jedem Gerät getestet. Die Stellung der Merkzeichen an verschiedenen Höhen auf der Messstange ist ein Vorteil im Fall von reicher Bodenvegetation.
- Weitere Tests werden noch für die Höhemessung durchgeführt. Dafür werden Messänderungen und ihre Abweichung mit dem Istwert analysiert.

3. Prototyp

Vorstellung der Benutzeroberfläche, Messinstrumenten, Probeflächen, Bestandesinventur, Vorgehen und Checkliste der Tests.

Siehe PowerPoint Ausdruck im Anhang 1, S. 15-25

Der am zweiten Workshop vorgestellte Prototyp wurde gearbeitet und bietet jetzt eine stabile Version. Die Neuigkeiten bestehen aus einen Willkommen-Bildschirm, vier neue Menüs, eine GPS-Funktion und die Berechnung eines Fehlerbereichs.

- Der Willkommen-Bildschirm erfasst wichtige Begriffe, sowie eine Kontaktmöglichkeit an dem MOTI-Team.
- Menüs:
 - Parameter: gemäss Gerät ruft man dieses Menü durch das MOTI- oder das Geräticon.
 - Hilfe: die Hilfe kann ohne Internetzugang erreicht werden.
 - Einstellung: die am letzten benützten Parameter bleiben (keine Nullung) und sind unterschiedlich je nach Modus.
 - Kalibrierung: die Daten, falls sie bekannt sind, können beim Benutzer eingegeben werden.
 - Impressum: der Text wird für eventuelle Anpassungen an alle Teilnehmern des Projektes gesendet.
 - Rückmeldung: diese erfolgt durch E-Mail.
 - Synchronisieren: die Verbindung mit dem bei dem MOTI-Team eingerichteten Server ist bereits in Betrieb. Sie ist durch WiFi möglich und erlaubt, die Daten in einer Datenbank auf dem Server zu speichern.
- Das Bestandesinventur:
 - Ein Assistent schlägt eine Anzahl von Probeflächen, sowie ihre Grösse vor. Es ist noch vorgesehen, ihre Anordnung auf dem Feld vorzuschlagen.
 - Ein Fehlerbereich wird für alle Messungen gerechnet.
 - Das Einstellungsmenü wurde reduziert. Nur die Merkzeichen auf der Messstange und das Baumartmodus können angepasst werden.
 - Das GPS zeigt die Genauigkeit der Koordinaten an. Falls die exakten Koordinaten schon bekannt sind, können sie in der Beschreibung eingenommen werden.
Bemerkung: die GPS-Koordinaten erfolgen dank Satelliten und eine Genauigkeit von etwa 3 m wurde im freien Raum und 8 m im Wald festgestellt. Es wurde vorgeschlagen, die Grenzbedingungen (im Thal und unter Schirm) zu testen. Es gibt noch Verbesserungsmöglichkeiten bei der Einrichtung einem Koordinatensystem (national oder international) und automatischen Stopp und Speichern wenn die Genauigkeit maximal ist.

4. Demo und Test des Prototyps im Wald

Siehe PowerPoint Ausdruck im Anhang 1 für die Methodik, S. 25-30

5. Feedbackdiskussion bzgl. dem Test auf dem Feld

a) Positive Punkte zu halten:

- Bei der Höhemessung
 - ist es mit einer Verwendung des Gerätes in der Breite stabiler geworden.
 - sind Sichtbarkeit und Helligkeit gerecht.
- Generell
 - ist die Zeitanwendung pro Probefläche befriedigend (10 bis 15 min.).
 - ist die Anordnung der Tasten gut.
 - ist die Schriftgrösse gut angepasst.
 - ist das Fehlerbereich genügend (der Test wurde aber in einem homogenen Bestandes durchgeführt).

b) Wichtige Punkte zu verbessern:

- Bei der Grundflächemessung
 - sollte eine persönliche Anordnung der Baumarten-Knöpfe möglich sein, sodass die häufige Baumart unten steht. Dies könnte durch eine Symmetrie- oder Drag and Drop-Option erfolgen. Dazu sollte es die Möglichkeit geben, neue besondere Baumarten zu erfassen.
- Bei der Höhemessung
 - erschwert die Helligkeit die Sichtbarkeit der Baumspitze.
 - wird die Messung überbewertet, wenn sie unterhalb des Baumes stattfindet.
 - reichen die Piktogramme nicht.
 - soll in der Hilfe klargestellt, an welche Distanz das Gerät gehalten werden muss.
- Bei der Stammzahlmessung
 - ist es nicht intuitiv, ob die Pfeile unten oder oben die Merkzeichen der Messstange finden müssen. Eine Lösung wäre, dass die Pfeile verschwinden, wenn der Benutzer zu weit ist.
 - ist es schwierig die Merkzeichen zu sehen, wenn die Messstange in der Sonne steht. Andere Farben dieser aus Polystyrol Merkzeichen müssen getestet werden.
- Bei der Auswertung des Bestandes
 - erfolgt ein Prozent von „Unbekannten“ wegen den Messungen auf den Probeflächen. Um dies zu meiden müssen die betroffenen Baumarten von Anfang an festgesetzt werden.
- Bei den Probeflächen
 - wird der Assistent ein Würfel und ein Azimut geben.
 - werden die Probefläche wahrscheinlich nach Name sortiert, mit der Möglichkeit, sie mit einen Filter erscheinen zu lassen.

- Generell
 - sollte den Vibrationsalarm als MOTI-Parameter eingestellt werden, unabhängig des Gerätes.
 - werden die Daten auch per Mail down- und uploadet können.

c) Wünsche und Vorschläge:

- Bei der Stammzahlmessung
 - wäre es schön, die verschiedenen Baumarten zu differenzieren, inklusiv Totholz.
 - möchte man die Aufnahmen gemäss Durchmesserklassen² durchführen (gilt auch für die Grundflächemessung und die Auswertung der Ergebnisse).
- Bei der Höhemessung
 - könnten die Merkzeichen automatisch erkannt werden.
- Bei der Grundflächemessung
 - könnten die Stämme automatisch erkannt werden.
 - ist die Notwendigkeit einer Kreisanzeige noch offen.
- Bezuglich die Stabilisation
 - wurde die Anwendung eines Einbeinstatives für eine bessere Stabilisation erwähnt. Diese ist möglich aber bei den verschiedenen Messungen muss man sich oft bewegen. Ein anderer Vorschlag wäre einen Bildstabilisator zu integrieren, aber es gibt das Risiko, dass die Messung der Baumhöhe weniger genau wird, da nur das Bild stabil ist. Er könnte trotzdem für die Grundflächemessung verwendet werden.
 - wurde am letzten Workshop vorgeschlagen, ein Wasserwage zu integrieren. Dieses neue Icon könnte aber Sichtbarkeitsproblemen ergeben. Die Frage seine Relevanz ist noch offen.
- Bei der GPS-Funktion
 - ist eine SIM-Karte notwendig: es könnte bei der Anwendung von Tabletten Problemen stellen.
 - dauert die Koordinatenbeschaffung eine gewisse Zeit. Das GPS könnte automatisch an der Öffnung der MOTI-App eröffnet werden.
 - kann man die anderen Datenfelde nicht ausfüllen, wenn die Koordinaten nicht zuerst gespeichert werden.
- Bei dem Inventur-Modus
 - bestehen nicht genug Informationen. Dies ist zurzeit noch in Bearbeitung.
 - ist die Navigation nicht intuitiv genug, wenn man zurückkommt. Es sollte ein Menü geben, mit Linken zu Probefläche und zum Bestand.
 - sollte die Möglichkeit bestehen, die Pflanzensoziologie zu erfassen, damit ein Höhenindiz berechnet werden kann.

² Die Durchmesserklassen wären folgenden: Schwachholz = 20-30 cm; mittelstarkes Holz = 30-45 cm; Starkholz = 50-70 cm; sehr starkes holz ≥ 70cm

- Bei der Hilfe
 - soll erklärt werden, das Gerät nicht drehen wenn ein Baum nicht gerade ist. Die Pfeile könnten zum Beispiel rot werden, wenn der Benutzer ein gewisses Toleranzbereich überschreitet.
 - soll angegeben werden, dass alle Bäume gezählt werden sollen (Kluppschwelle ist 0). Es könnte aber in einer Dickungsfläche eines Dauerwaldes Problemen geben.
 - muss die Spiegelung geklärt werden.
 - soll es eine Erklärung bezüglich den Merkzeichen und den Pfeilen bei der Höhemessung geben.
 - Das Vorhandensein des Hilfe-Menüs soll von Anfang an hingewiesen werden.
- Bei dem Editieren-Modus des Bestandes
 - muss noch der Speichernknopf verbessert werden, z.B. „Speichern und Auswertung“ / „Auswertung“ / „Zurück zu den Probefläche“.
- Bei den Probeflächen
 - der Assistent könnte eine automatische Anordnung der Kompartimenten gemäss der Bestandeskarte geben, das heisst, dass die Form der Bestandesfläche wiederholt wird.
 - wird es eine Geonavigation zu anderen Probeflächen (mindestens eine Richtungsangabe).
 - ist eine räumliche Darstellung der Flächen erwünscht.
 - könnte es eine Erkennung von bereit aufgenommenen Probeflächen in der Nähe des Benutzers geben (nur bei Einschaltung).

6. Erweiterungen

Vorstellung der Web-Applikation, Paper Prototyping SiWaWa, Bachelorarbeit über NaiS.

a) Web-Applikation

Siehe PowerPoint-Ausdruck von Ulrich Fiedler, Anhang 2.

Das Ziel dieser Web-Applikation ist die Daten auf einem Server zu speichern, was auch ermöglicht, diese Daten (alle oder teilweise) hoch- und herunterzuladen. Dies würde nicht an seinen eigenen Daten beschränkt.

Zum Moment ist es unmöglich, die Daten auf einem Computer hochzuladen.

Vorschläge und Wünsche:

- Es sollte möglich sein, Daten zusammenzuziehen, wenn z.B. mehrere Leute auf derselben Inventurfläche arbeiten.
- Informationen über Eigentümer sollten erhalten werden können.
- Ein Herunterladen auf einem USB-Stick oder per E-Mail sollte es geben.
- Die Teilnehmer der Begleitgruppe sind gebeten, das MOTI-Team darauf zu informieren, ob sie .csv-Datei trotz Restriktion der kantonalen Dienste herunterladen können.
- Das MOTI-Team wird sich auf Inputs zum Design des Servers freuen.

b) SiWaWa

Siehe PowerPoint Ausdruck im Anhang 1, S. 31

Die MOTI-App soll mit SiWaWa und kantonalen Tarifs verwenden können. Kanton Fribourg wird SiWaWa benützen, Waadt braucht den Tarif aus der Forstagenda, während die anderen Kantone müssen ihren eigenen Tarif am MOTI-Team senden.

Für eine Anwendung mit SiWaWa sollte es möglich sein, nur die zu fallenden Bäume gezählt werden.

Für eine optimale Stammverteilung mit SiWaWa müssten D_{\max} und D_{\min} ³ erfasst werden. Dazu könnte es eine Auswertung durch den Vergleich zwischen D_{\max} und D_G ⁴ erlauben.

c) NaiS

Zwei Bachelorarbeiten werden an der BFH erarbeitet und in Januar fertig. Sie gehen um Programme und elektronischen Formularen.

7. Anpassung an die kantonalen Bedürfnisse

Vorstellung der Ergebnisse, Auswertung, Export, Tests.

Siehe Tabelle in Anhang 3.

Eine gemeinsame nach Thematik geordnete Attributliste für alle Kantone wird ihnen ermöglichen, die Erfassung dieser Attribute direkt auf dem Feld.

Zwei Versionen wurden vorgestellt, eine statische und eine dynamische Version.

- **Statische Version:**
Jeder Kanton wählt seine gewünschten Attribute in der vollständigen Liste. Es würde nicht einfach, ein weiteres Attribut einzufügen.
- **Dynamische Version:**
Jeder Kanton definiert seine gewünschten Attribute in einer Liste auf dem Server. An der ersten Verbindung wird diese Liste automatisch in MOTI heruntergeladen.

Die Teilnehmer des Workshops haben sich für die erste Version entschiedet.

8. Businessmodell

Besprechung der Lösungsvorschlag.

Zurzeit gibt es kein fachkundiges Firma im Bereich Smartphone, das die Weiterentwicklung, bzw. Aktualisierung, Support und Hilfe für die MOTI-App übernehmen kann. Es sollte auch nicht die Aufgabe der BFH sein, aber die HAFL ist bereit, sich um den Übergang zu kümmern. Dafür ist eine Zusammenarbeit mit Ausland und dessen Teilnahme zur Finanzierung möglich. Es gibt auch die Möglichkeit, dass die HAFL ein internes Start-up gründet.

Zum Moment sind die Begleitgruppe und das MOTI-Team damit einverstanden, dass die HAFL diese Aufgabe behaltet.

9. Schlussdiskussion und weiter Vorgehen

- In der nächsten Zeit wird die MOTI-App noch weiter konsolidiert.
- SiWaWa wird dazu integriert.
- Verschiedene Tests werden im Zeitraum August / Mitte-September in den Kantonen durchgeführt.

³ Ober- und minimaler Durchmesser

⁴ Durchmesser der Stamm mit der mittleren Grundfläche

10. Zusammenfassung des Feedback und Pendenzliste

<p>6.1 Was positives ist</p> <p>Bei der Höhemessung ist es mit der Verwendung des Gerätes in der Breite stabiler geworden.</p> <p>Bei der Höhemessung sind Sichtbarkeit und Helligkeit gerecht.</p> <p>Zeitanwendung pro Probefläche befriedigend.</p> <p>Anordnung der Tasten gut.</p> <p>Schriftgrösse gut angepasst.</p> <p>Fehlerbereich genügend</p>	6
<p>6.3 Was zu verbessern gibt</p> <p>SiWaWa und kantonalen Tarifs integrieren.</p> <p>Fehlerbereich in heterogene Bestände testen.</p> <p>Vibrationsalarm als MOTI-Parameter.</p> <p>Daten auch per Mail down- und uploaden.</p> <p>Grundfläche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Symmetrie- oder Drag and Drop-Option. - Neue Baumarten erfassen können. <p>Höhe:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sichtbarkeit der Baumspitze wegen Helligkeit. - Messung unterhalb des Baumes → Überwertung - mehr Piktogramme - an welche Distanz das Gerät muss gehalten werden? 	6
<p>Stammzahl:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pfeile unten oder oben die Merkzeichen? → Pfeile verschwinden, wenn der Benutzer zu weit ist. - Messstange in der Sonne = schlechte Sichtbarkeit der Merkzeichen → mit anderen Farben versuchen <p>Auswertung: „Unbekannten“ → die betroffenen Baumarten müssen von Anfang an festgesetzt werden.</p> <p>Probeflächen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Würfel und Azimut - nach Name sortiert + Filter 	6
<p>6.5 Was noch schön wäre</p> <p>Stammzahl:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baumarten differenzieren - Totholz differenzieren. - Aufnahmen gemäss Durchmesserkategorien (auch für die Grundflächemessung und die Auswertung der Ergebnisse). 	6

Höhe: Merkzeichen automatisch erkennen.
Grundfläche:
<ul style="list-style-type: none"> - Stämme automatisch erkennen. - Kreisanzeige?
Stabilisation:
<ul style="list-style-type: none"> - Einbeinstatives? - Bildstabilisator? - Wasserwage?
GPS:
<ul style="list-style-type: none"> - SIM-Karte notwendig → Problemen mit Tabletten? - automatisch an der Öffnung der MOTI-App eröffnen? - anderen Datenfelde ausfüllbar ohne Koordinatenspeichern.
Inventur-Modus:
<ul style="list-style-type: none"> - nicht genug Informationen (in Bearbeitung) - Navigation nicht intuitiv: Menü mit Linken. - Pflanzensoziologie zum Höhenindiz.
Hilfe:
<ul style="list-style-type: none"> - erklären, Gerät nicht drehen → Pfeile werden rot (Toleranzbereich). - Kluppschwelle = 0. - Spiegelung klären. - Merkzeichen und Pfeilen erklären. - Vorhandensein des Hilfe-Menüs von Anfang an hinweisen.
Editieren-Modus: Speichernknopf verbessern
Probeflächen:
<ul style="list-style-type: none"> - automatische Anordnung gemäss der Form der Bestandesfläche. - Geonavigation/Richtungsangabe zu anderen Probeflächen. - räumliche Darstellung der Flächen. - Erkennung von bereit aufgenommenen Probeflächen in der Nähe.
SiWaWa:
<ul style="list-style-type: none"> - nur die zu fallenden Bäume zählen. - D_{max} und D_{min} erfassen.
Web-Applikation:
<ul style="list-style-type: none"> - Daten von verschiedenen Benutzern zusammenziehen. - Infos über Eigentümer erhalten. - USB-Stick und per E-Mail Herunterladen. - Statische Version der Attributenliste.

6.7 Varia und Pendenzliste

Was	Wer	Wann
Tarifs an dem MOTI-Team mitteilen	Begleitgruppe	So bald wie möglich
.csv-Datei Herunterladen möglich?	Begleitgruppe	So bald wie möglich
Inputs zum Design des Servers	Begleitgruppe	In den nächsten Monaten
Businessmodell so behalten	MOTI-Team	Ab jetzt
Tests auf dem Feld bei den Kantone	MOTI-Team	Ab August