

# MOTI

## L'inventaire forestier simplifié par le smartphone Version actualisée du rapport final

Haute école spécialisée bernoise BFH  
Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL  
Division sciences forestières

### Note au lecteur

Cet ouvrage est issu d'un projet de recherche mené au sein de la haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (BFH-HAFL) en collaboration avec le département technique et informatique de la haute école spécialisée bernoise (BFH-TI). Le projet s'est déroulé en trois phases.

La première phase, financée par le Fonds pour les recherches forestières et l'utilisation du bois (Projet n°2012.24) de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et plusieurs cantons suisses (Fribourg, les Grisons, Lucerne, le Tessin, le Valais, Vaud, Zurich), a permis de développer la version Android de MOTI.

La deuxième phase, soutenue par l'Office fédéral de l'environnement (contrat 00.0059.PZ / N493-0637) et par des cantons supplémentaires (Bâle, Genève, Soleure, Saint-Gall), a permis le développement de la version iOS de MOTI.

La troisième phase, financée dans le cadre du projet européen FOCUS (Projet n°604286 ; [www.focusnet.eu](http://www.focusnet.eu)), a permis de simplifier le calibrage de l'application grâce à une procédure de reconnaissance objet et de développer de nouvelles fonctionnalités facilitant la réalisation d'inventaires forestiers.

Cet ouvrage correspond au rapport final de la première phase complété afin de rendre compte des développements majeurs qui ont eu lieu lors des 2e et 3e phases. En particulier, ont été modifiées les sections portant sur le principe de mesure de la hauteur des arbres (3.2.3), sur la méthode (3.5.1) et la procédure (4.6) de calibrage, sur la vulgarisation réalisée autour de MOTI (6) et sur le bilan du projet (7.1).

# Impressum

## **Partenaires**

Office fédéral de l'environnement OFEV

Amt für Wald beider Basel

Service des forêts et de la faune de l'Etat de Fribourg

Direction générale de l'agriculture et de la nature, Canton de Genève

Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Graubünden

Landwirtschaft und Wald (Iawa), Kanton Luzern

Amt für Wald, Jagd und Fischerei, Abteilung Wald, Kanton Solothurn

Kantonforstamt St. Gallen

Sezione forestale, Repubblica e Cantone Ticino

Service des forêts, des cours d'eau et du paysage, Canton du Valais

Service des forêts, de la faune et de la nature, Canton de Vaud

Amt für Landschaft und Natur, Kanton Zürich

## **Développement de MOTI**

Haute école spécialisée bernoise BFH

Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires BFH-HAFL

Technique et informatique BFH-TI

## **Équipe BFH et auteurs**

Prof. Dr. Christian Rosset (chef de projet, HAFL)

Roland Brand (HAFL)

Iris Caillard (HAFL)

Prof. Dr. Ulrich Fiedler (TI)

Clotilde Gollut (HAFL)

Aaron Schmocker (HAFL)

Dominique Weber (HAFL)

Eric Wuillemin (HAFL)

Dr. Gaspard Dumollard (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 de l'Office fédéral de l'environnement OFEV (Projet n°2012.24)

Avec le soutien de l'Office Fédéral de l'Environnement OFEV (contrat 00.0059.PZ / N493-0637)

Avec le soutien du septième programme-cadre de recherche de l'Union Européenne, à travers le projet FOCUS (Projet n°604286)

Copyright 2017 Verlag Kessel

[www.forestrybooks.com](http://www.forestrybooks.com)

[www.forstbuch.de](http://www.forstbuch.de)

Verlag Kessel

Eifelweg 37

53424 Remagen

Tel.: 0049-2228-493

Fax: 0049-3212-1024877

E.Mail: [webmaster@forstbuch.de](mailto:webmaster@forstbuch.de)

**ISBN 978-3-945941-32-4**

# Table des matières

Liste des figures . . . . .	4
Liste des tables. . . . .	6
Résumé . . . . .	7
1 Introduction . . . . .	9
1.1 Contexte . . . . .	9
1.2 Objectifs . . . . .	10
1.3 Situation actuelle . . . . .	11
1.4 Structure du rapport . . . . .	12
2 Méthodologie. . . . .	13
2.1 Approche . . . . .	13
2.2 Articulation du développement de MOTI et méthodes appliquées. . . . .	14
2.3 Organisation et déroulement du projet. . . . .	17
3 Concepts métiers . . . . .	20
3.1 Modes d'utilisation . . . . .	20
3.2 Mesures . . . . .	22
3.3 Traitement des résultats. . . . .	34
3.4 Mise en pratique des inventaires par échantillonnage. . . . .	38
3.5 Calibrage . . . . .	41
4 Solution IT. . . . .	48
4.1 Vue d'ensemble de l'application. . . . .	48
4.2 Mesures uniques . . . . .	49
4.3 Mesures combinées. . . . .	52
4.4 Inventaires par échantillonnage . . . . .	56
4.5 Menus Aide et Configuration . . . . .	59
4.6 Autres fonctions (synchronisation, calibrage, etc.). . . . .	60
5 Tests . . . . .	67
5.1 Tests de précision des mesures. . . . .	67
5.2 Test comparatif MOTI vs. relascope de Bitterlich . . . . .	77
5.3 Tests d'utilisation . . . . .	81
5.4 Recommandations . . . . .	83
6 Vulgarisation . . . . .	85
6.1 Releases . . . . .	85
6.2 Site internet . . . . .	85
6.3 Publications . . . . .	85
7 Discussion. . . . .	87
7.1 Objectifs du projet et résultats obtenus . . . . .	87
7.2 Méthodologie, déroulement et organisation du projet . . . . .	90
7.3 Perspectives d'avenir . . . . .	91
Références . . . . .	93

# Liste des figures

Fig. 1 :	Cycle de développement de l'application MOTI. . . . .	14
Fig. 2 :	Exemple de croquis reproduisant l'interface utilisateur selon la technique du maquettage papier. . . . .	15
Fig. 3 :	Principe des mesures combinées sur une placette. . . . .	21
Fig. 4 :	L'angle constant et le rayon critique. . . . .	23
Fig. 5 :	Principe de la mesure de la surface terrière à l'ha avec MOTI. . . . .	24
Fig. 6 :	Détermination de la largeur $a$ de l'encoche à l'écran. . . . .	25
Fig. 7 :	Principe de la mesure du nombre de tiges à l'ha avec MOTI. . . . .	27
Fig. 8 :	Calcul de l'angle $\alpha$ qui caractérise l'intervalle entre les marques fixées sur le jalon à une distance $d=r$ . . . . .	28
Fig. 9 :	Détermination de la hauteur $a$ de l'encoche à l'écran. . . . .	28
Fig. 10 :	Influence de l'inclinaison du smartphone sur l'angle qui caractérise l'intervalle formé par les marques de référence sur le jalon. . . . .	30
Fig. 11 :	Principe trigonométrique selon lequel les angles $\delta_1$ et $\delta_2$ sont déterminés. . . . .	30
Fig. 12 :	Détermination de la hauteur $d1+d2$ de l'encoche à l'écran. . . . .	31
Fig. 13 :	Mesure de la hauteur $h$ d'un arbre selon le principe trigonométrique, sans mesure de distance. . . . .	32
Fig. 14 :	Mesure de la hauteur $h$ avec MOTI. . . . .	33
Fig. 15 :	Concept pour la disposition de placettes temporaires dans un peuplement. . . . .	40
Fig. 16 :	Méthode Walk Through pour la correction des effets de lisière. . . . .	41
Fig. 17 :	Les angles de champ. . . . .	42
Fig. 18 :	Procédure de détermination du champ de vision de l'appareil photo du smartphone. . . . .	43
Fig 19.a :	Installation permettant de déterminer le champ de vision de l'appareil photo du smartphone dans la version iOS de MOTI. . . . .	44
Fig 19.b :	Installation permettant de déterminer le champ de vision de l'appareil photo du smartphone dans la version Android de MOTI. . . . .	44
Fig. 20 :	Contrôle de la précision de la détermination du champ de vision de l'appareil photo. . . . .	45
Fig. 21 :	Axe de visée de l'appareil photo. . . . .	45
Fig. 22 :	Test de la mesure de l'inclinaison du smartphone. . . . .	46
Fig. 23 :	Contrôle de la précision de la détermination de l'écart de visée de l'appareil photo. . . . .	47
Fig. 24 :	Écran de démarrage de MOTI. . . . .	48
Fig. 25 :	Interface de la mesure de la surface terrière à l'ha, sans distinction des essences. . . . .	49
Fig. 26 :	Interface de la mesure du nombre de tiges à l'ha. . . . .	50
Fig. 27 :	Interface de la mesure de la hauteur de l'arbre. . . . .	51
Fig. 28 :	Interface de l'estimation du matériel sur pied à l'ha. . . . .	51
Fig. 29 :	Interface de la mesure de la surface terrière à l'ha, avec distinction des essences. . . . .	53
Fig. 30 :	Interface de gestion des placettes. . . . .	53
Fig. 31 :	Onglet « Collecte des données » d'une placette. . . . .	53

Fig. 32 :	Onglet « Résultats » d'une placette. . . . .	54
Fig. 33 :	Exemple de simulation de la répartition des tiges par classe de DHP sur une placette. . . . .	55
Fig. 34 :	Exemple de simulation de l'évolution de la surface terrière sur une placette dans les 30 prochaines années. . . . .	55
Fig. 35 :	Exemple de simulation de l'évolution du matériel sur pied sur une placette dans les 30 prochaines années. . . . .	56
Fig. 36 :	Interface de gestion des inventaires de peuplement. . . . .	56
Fig. 37 :	Onglet « Description » d'un inventaire de peuplement. . . . .	57
Fig. 38 :	Proposition de design d'inventaire générée automatiquement. . . . .	58
Fig. 39 :	Assistant de navigation pour la localisation de placettes permanentes. . . . .	60
Fig. 40 :	Interface de synchronisation des données. . . . .	60
Fig. 41 :	Assistant de calibrage dans la version iOS de MOTI. . . . .	61
Fig. 41bis :	Assistant de calibrage dans la version Android de MOTI (1.1.0) . . . . .	64
Fig. 42 :	Exemple de capture d'écran faite lors des tests de la mesure de la surface terrière à l'ha. . . . .	66
Fig. 43 :	Exemple de capture d'écran faite lors des tests de la mesure du nombre de tiges l'ha. . . . .	70
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). . . . .	74
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. . . . .	74
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. . . . .	75
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. . . . .	75
Fig. 48 :	Boxplots de l'erreur relative [%] du résultat de la mesure de hauteur en fonction du nombre de mesures effectuées et c onsidérées dans la moyenne. . . . .	76
Fig. 49 :	Cas de chevauchement (1-3) et d'arbres cachés (4) rencontrés lors des tests. . . . .	80

## Liste des tables

Tab. 1 :	Comparaison sommaire des fonctionnalités des applications mobiles relatives aux inventaires forestiers disponibles sur le marché	12
Tab. 2 :	Déroulement du projet articulé selon les rencontres avec les partenaires et les cycles de développement	18
Tab. 3 :	Détermination des angles $\delta_1$ et $\delta_2$ 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 $\gamma$ du smartphone	31
Tab. 4 :	Coefficients de forme $V_7 / G$	34
Tab. 5 :	Recommandations quant au design de l'inventaire d'un peuplement	40
Tab. 6 :	Contenu du menu Calibrage	59
Tab. 7 :	Nombre de mesures effectuées par configuration de test	68
Tab. 8 :	Résultats des tests de la mesure de la surface terrière	69
Tab. 9 :	Nombre de mesures effectuées par configuration de test	71
Tab. 10 :	Résultats des tests de la mesure du nombre de tiges	71
Tab. 11 :	Nombre de mesures de hauteur effectuées par configuration de test	73
Tab. 12 :	Statistiques (minimum, quartiles, maximum et moyenne) des hauteurs [m] mesurées avec MOTI selon la hauteur réelle [m] de l'objet mesuré	73
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)	77
Tab. 14 :	Résultats des tests comparatifs MOTI vs. relascope de Bitterlich pour la mesure de la surface terrière à l'ha	78
Tab. 15 :	Publication des différentes versions de l'application MOTI et de son précurseur MotiWZP sur Google Play	85

## 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 soutient 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 technologiques pour assurer le transfert de l'innovation de la recherche à la pratique.

MOTI est le résultat d'un projet mené à bien par la haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (BFH-HAFL) en collaboration avec le département technique et informatique de la haute école spécialisée bernoise (BFH-TI). Le projet a été mené à bien en trois phases. La première phase, financée par le Fonds pour les recherches forestières et l'utilisation du bois (Projet n°2012.24) de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et plusieurs cantons suisses (Fribourg, les Grisons, Lucerne, le Tessin, le Valais, Vaud, Zurich), a permis de développer la version Android de MOTI. Les développements de cette première phrase se sont concentrés principalement sur une période relativement courte de 12 mois et se sont faits selon une approche résolument pragmatique et participative qui a fait intervenir régulièrement et activement les représentants des cantons partenaires. La deuxième phase, soutenue par l'Office fédéral de l'environnement (contrat 00.0059.PZ / N493-0637) et par des cantons supplémentaires (Bâle, Genève, Soleure, Saint-Gall), a permis le développement de la version iOS de MOTI. La troisième phase, financée par le 7e programme-cadre de l'Union Européenne à travers le projet européen FOCUS (Projet n°604286 : [www.focusnet.eu](http://www.focusnet.eu)), a permis de simplifier le calibrage de l'application grâce à une procédure de reconnaissance objet, et de développer de nouvelles fonctionnalités facilitant la réalisation d'inventaires forestiers.

MOTI fait déjà l'objet d'un succès très significatif si l'on considère le nombre de téléchargements déjà effectués au moment du bouclage de ce rapport technique actualisé (>20 000), de son utilisation déjà effective dans la formation forestière (p.ex. HAFL et ETHZ) ainsi que des présentations déjà réalisées 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, et 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 résidents 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 (BFH-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) :

- 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 attrayants, 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 digitalement 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 fournisse 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 accroc 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. 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.

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

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	+		+	+	+	+	+	+	+			+

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 perçue (*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.

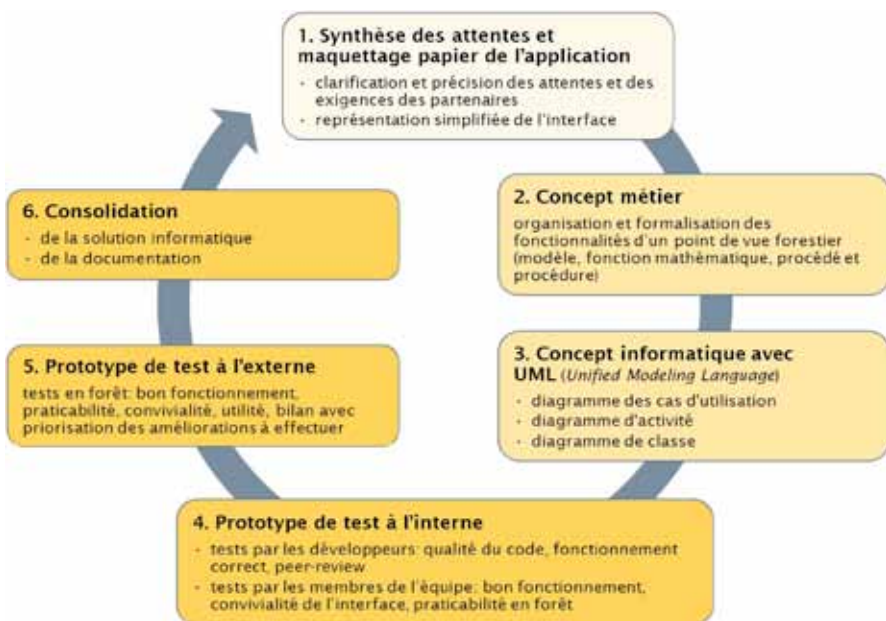


Fig. 1 : Cycle de développement de l'application MOTI.

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.

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 petitesse 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.



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).

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.



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. C'est seulement après la réussite d'un premier ensemble de tests que le prototype passe des mains des programmeurs à celles des autres membres de l'équipe MOTI pour une seconde série de tests au bureau (bon fonctionnement, convivialité de l'interface) et en forêt (précision 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 (BFH-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 (BFH-HAFL, assistant scientifique) : programmation

Dominique Weber (BFH-HAFL, assistant scientifique) : programmation

Clotilde Gollut (BFH-HAFL, collaboratrice scientifique) : inventaires forestiers, tests, contact avec les partenaires

Eric Wuillemin (BFH-HAFL, assistant) : tests, contact avec les partenaires des cantons francophones

Iris Caillard (BFH-HAFL, assistante) : tests

Experts externes	Jean-Philippe Schütz (Prof. em. EPFZ) : modèle de croissance forestière SiWaWa Adrian Lanz (WSL) : inventaires forestiers
Groupe d'accompagnement (Phase 1)	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 de la première phase du projet pour l'année 2013, au cours de laquelle la version Android de MOTI a été développée. Cette première phase s'est terminée avec la rédaction puis la remise du rapport technique en mars 2014. Cette phase s'est déroulée selon trois cycles de développement de MOTI, en

Tab. 2 : Déroulement de la première phase du projet articulée 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 <sup>er</sup> cycle de développement: mesures de G, N, h et relevé par placette unique	E1	E2-4		E5	E6							
2 <sup>ème</sup> cycle de développement: inventaire au niveau du peuplement et analyse statistique			E1	E2-4			E5	E6				
3 <sup>ème</sup> cycle de développement: application de base complète + extension (SiWaWa)						E1	E2-4			E5	E6	
Tests dans les cantons partenaires									Tests			

---

augmentant à chaque fois le nombre de fonctionnalités (cf. chap. 2.2). Elle s'est aussi articulée autour de trois workshops, auxquels a participé le groupe d'accompagnement, et selon une série de tests effectués en forêt dans les cantons partenaires.

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.

La deuxième phase du projet, ayant permis le développement de la version iOS de MOTI, a suivi un processus identique à celui de la phase 1. Les travaux de cette deuxième phase ont suivi de près la première phase et se sont déroulés à cheval sur 2014 et 2015. Le groupe d'accompagnement issu des cantons ayant soutenu la phase 2 du projet est décrit ci-dessous :

Groupe d'accompagnement	Jörg Hässig (SG)
(Phase 2)	Christoph Hitz (BL/BS)
	Manuel Schnellmann (SO)
	Stéphane Sciacca (GE)

## 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  $\omega$  est la combinaison d'une placette à rayon  $r$  constant pour la mesure de  $N$  et d'une placette à angle  $\alpha$  constant pour la mesure de  $G$  (Fig. 3). L'utilisateur choisit l'emplacement du centre  $\omega$  ainsi que la taille de la placette, autrement dit son rayon  $r$  ainsi que l'angle constant  $\alpha$ , ou plus exactement le facteur de comptage  $k$  utilisé (cf. 3.2.1).

#### 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