

CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 720 144 A2

(51) Int. Cl.: G01N 33/00 (2006.01)  
G01N 21/25 (2006.01)  
G06Q 50/02 (2024.01)

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) DEMANDE DE BREVET

(21) Numéro de la demande: 000188/2023

(22) Date de dépôt: 23.02.2023

(43) Demande publiée: 30.04.2024

(30) Priorité: 19.10.2022 EP 22202632.0

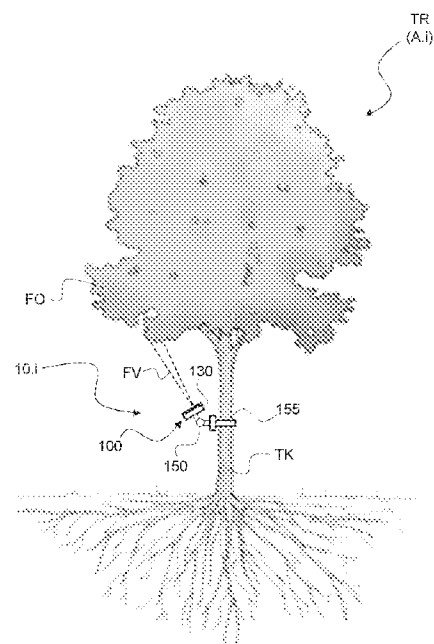
(71) Requéant:  
Krebs Paysagistes SA, Chemin de Champ-Belluet 26  
1807 Blonay (CH)

(72) Inventeur(s):  
Blaise Raybaud, 74700 Sallanches (FR)  
Marie Palman, 1241 Puplinge (CH)  
Peter Gallinelli, 1217 Meyrin (CH)  
Stéphane Krebs, 1807 Blonay (CH)  
Éric Amos, 1225 Chêne-Bourg (CH)

(74) Mandataire:  
ABREMA SA, Avenue du Théâtre 16 C.P. 5027  
1002 Lausanne (CH)

(54) APPAREIL DE SURVEILLANCE D'UN ÉTAT DE SANTÉ D'UN ARBRE

(57) L'invention concerne un appareil (100) pour surveiller l'état de santé d'un arbre (TR) comprenant des capteurs configurés afin d'effectuer des mesures de paramètres indicatifs de l'état de santé de l'arbre (TR) et un système de traitement configuré afin de traiter les mesures fournies par les capteurs. Les capteurs comprennent au moins un capteur multispectral afin de réaliser des mesures optiques sur un feuillage (FO) de l'arbre (TR), lequel capteur multispectral est capable de réaliser des mesures optiques dans le spectre visible et dans le spectre proche infrarouge (NIR). L'appareil (100) est configuré afin de calculer un indice différentiel de végétation normalisé de l'arbre concerné (TR) sur la base des mesures optiques effectuées par le capteur multispectral.



**Description****DOMAINE TECHNIQUE**

[0001] La présente invention concerne de manière générale un appareil pour surveiller l'état de santé d'un arbre.

**CONTEXTE DE L'INVENTION**

[0002] La publication internationale (PCT) No. WO 2022/049552 A1 au nom du présent Demandeur, dont le contenu est incorporé ici par référence dans son intégralité, divulgue un procédé et un système de suivi, de surveillance et de prévision de la santé d'un patrimoine végétal, tel un parc arboré ou une forêt comprenant plusieurs spécimens d'arbres. Chaque spécimen constituant le patrimoine végétal est équipé d'un ensemble de capteurs configurés pour mesurer une pluralité de paramètres représentatifs d'un état de santé du spécimen ou susceptibles d'affecter l'état de santé du spécimen. Les données de mesure générées par chaque ensemble de capteurs sont collectées localement et communiquées à un centre de collecte de données via un réseau sans fil. Une caractérisation de l'état de santé de chaque spécimen est réalisée à partir des données de mesures collectées par le centre de collecte de données afin de construire un modèle prédictif de la santé de chaque spécimen. Une évaluation de l'état de santé de chaque spécimen est réalisée sur la base du modèle prédictif, et une alerte est générée si le modèle prédictif de santé du spécimen est indicatif d'un danger ou d'un autre risque lié à une aggravation de l'état de santé de chaque spécimen.

[0003] La publication de brevet européen No. EP 3 531 367 A1 décrit un système pour prédire l'apparition d'une maladie affectant les arbres et un procédé associé. Le système comprend une unité de stockage pour recevoir et stocker des premières informations sur la teneur en eau d'un arbre, qui sont mesurées par un capteur de teneur d'eau dédié disposé sur l'arbre, et des secondes informations sur la teneur en eau du sol environnant dans lequel l'arbre est planté, qui sont mesurées par un autre capteur de mesure de teneur d'eau dédié disposé dans le sol environnant. D'autres capteurs peuvent être prévus pour mesurer l'humidité et la température de l'environnement dans lequel se trouve l'arbre, ainsi que pour mesurer des informations sur la teneur en sucre de l'arbre. Une unité de traitement est en outre prévue pour prédire si une maladie affectant les arbres doit se produire sur la base des premières informations de teneur en eau et des secondes informations de teneur en eau. Cette publication ne contient cependant pas de description détaillée de la technologie des capteurs utilisée et se réfère simplement à la mesure de la teneur en eau par une impulsion thermique et à la mesure de la teneur en sucre par spectroscopie dans le proche infrarouge.

[0004] La publication de brevet européen No. EP 3 421 988 A1 divulgue un appareil et un procédé pour mesurer en continu la „staticité“ d'un ou plusieurs arbres, à savoir leur stabilité au fil du temps. Le dispositif comprend essentiellement un capteur de mouvement à trois axes (tel un accéléromètre à trois axes), une unité de traitement de données, une unité de transmission de données et une unité de réception de données qui sont fonctionnellement connectées les unes aux autres. Un anémomètre peut en outre être connecté de manière fonctionnelle à l'unité de réception de données.

[0005] La publication de brevet chinois No. CN 103903400 A divulgue un appareil comprenant un inclinomètre (tel un accéléromètre MEMS à trois axes) qui peut être fixé au tronc d'un arbre pour collecter des données d'accélération en temps réel qui sont traitées pour déterminer un degré d'inclinaison de l'arbre et le comparer à une valeur seuil prédéfinie afin de surveiller et déterminer si l'arbre est susceptible de tomber et constitue un risque potentiel pour les passants.

[0006] Un principe similaire est divulgué dans „Tree tilt monitoring in rural and urban landscapes of Hong Kong using smart sensing technology“, Sawaid Abbas et al., publié dans „Trees, Forest and People“, Volume 2, décembre 2020, 100030, Elsevier B.V. (<https://doi.org/10.1016/i.tfp.2020.100030>). Dans ce cas, un accéléromètre et un capteur de vibrations sont utilisés pour suivre la réponse physique des arbres en mesurant les angles de rotation, les déplacements des arbres et les angles d'inclinaison des arbres avec une précision d'inclinaison de 0.05°.

[0007] Encore un autre principe est divulgué dans „IoT-Based Smart Tree Management Solution for Green Cities“, Bilal Shabandri et al., publié dans „Internet of Things and Analytics for Agriculture“, Volume 2, Studies in Big Data (SBD) 67, octobre 2019, pp. 181-199 ([https://doi.org/10.1007/978-981-15-0663-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0663-5_9)). Dans ce cas, divers capteurs sont mis en oeuvre, notamment un capteur sonore, un capteur piézoélectrique de vibrations, un photodétecteur, un capteur de température et d'humidité, un capteur de qualité de l'air, un capteur de teneur en eau et un capteur de dioxyde de carbone, conduisant à une architecture sensorielle quelque peu complexe et coûteuse qui est par ailleurs coûteuse et difficile à mettre en oeuvre en pratique, notamment dans une solution portable/mobile.

[0008] Se concentrer uniquement sur la réponse physique des arbres et mesurer des paramètres physiques tels que les angles d'inclinaison et les mouvements des arbres peut ne pas fournir une indication suffisamment représentative de l'état de santé d'un arbre. Cela permet de détecter de manière fiable et éventuellement prédire le risque de chute d'un arbre, mais cela peut difficilement être exploité pour déterminer avec précision l'état de santé de l'arbre et construire un modèle prédictif plus fiable de celui-ci.

[0009] Comme enseigné dans la technique, il est donc préférable de s'appuyer en outre sur d'autres capteurs pour mesurer des paramètres autres que des paramètres purement physiques liés à la stabilité et/ou aux mouvements des arbres, mais cela se fait au détriment d'une architecture sensorielle plus complexe qui devient encore plus difficile à mettre en oeuvre

et à intégrer dans une solution fiable et rentable qui, par essence, doit être portable et autonome du point de vue de l'alimentation en énergie.

**[0010]** L'article intitulé „New tree monitoring systems: from Industry 4.0 to Nature 4.0“, Riccardo Valentini et al., publié dans „Annals of Silvicultural Research“, Volume 43, No. 2, 30 novembre 2019, pp. 84-89 (<https://doi.org/10.12899/asr-1847>) divulgue un appareil selon le préambule de la revendication 1 (voir également la publication de brevet italien n° IT 102019000013362 A1 intitulée „DISPOSITIVO E SISTEMA PER IL RILIEVO DELLO STATO DI SALUTE DI UNA O PIU' PIANTE“). L'appareil (désigné sous le nom TreeTalker, ou l'acronyme „TT“) comprend des capteurs multispectraux pour effectuer des mesures optiques sur un feuillage de l'arbre, lesquels capteurs multispectraux sont conçus pour effectuer des mesures optiques dans douze bandes spectrales centrées à environ 450 nm, 500 nm, 550 nm, 570 nm, 600 nm, 610 nm, 650 nm, 680 nm, 730 nm, 760 nm, 810 nm et 860 nm, ce qui permet par exemple le calcul à distance d'un indice différentiel de végétation normalisé („Normalized Difference Végétation Index“, ou NDVI). L'appareil TT susmentionné n'est pas configuré pour effectuer un calcul embarqué de l'indice différentiel de végétation normalisé (NDVI), mais essentiellement pour communiquer les mesures optiques (ainsi que d'autres mesures) en temps quasi-réel via une unité de communication sans fil configurée pour fonctionner selon le protocole de communication LoRaWAN. En effet, les données de mesure sont transmises à un noeud proche (ou „noeud-TT“) qui peut desservir un groupe de plusieurs appareils TT, et la transmission des données est généralement réglée à une fréquence horaire. Le noeud-TT est à son tour connecté à Internet via un réseau GPRS afin d'envoyer les données à un serveur informatique où elles sont collectées. Ces données peuvent ensuite être récupérées depuis le serveur informatique afin d'effectuer leur traitement et extraire des informations indicatives de l'état de santé des arbres sur lesquels les appareils TT sont installés.

**[0011]** L'appareil TT susmentionné comprend d'autres capteurs pour mesurer le flux de sève, l'humidité de la tige, la croissance radiale du tronc d'arbre, le mouvement de l'axe du tronc d'arbre, ainsi que la température et l'humidité de l'air. La densité du flux de sève est notamment récupérée en surveillant la température de deux sondes de 20 mm de long qui sont insérées dans le bois du tronc à une distance de 10 cm le long de l'axe vertical du tronc. Ceci n'est pas souhaitable en pratique car cela constitue une mesure invasive qui peut dans les faits nuire à la santé de l'arbre.

**[0012]** Une autre limitation de l'appareil TT susmentionné réside dans l'emplacement des capteurs multispectraux, qui sont montés au-dessus du boîtier principal de l'appareil TT, et dans le positionnement du boîtier principal de l'appareil TT qui est fixé directement au tronc d'arbre au moyen d'une ceinture tendue autour du tronc d'arbre. Cela restreint considérablement la capacité de positionner l'appareil TT et de garantir que les capteurs multispectraux concernés puissent détecter correctement la lumière transmise à travers la canopée des arbres, ce qui affecte intrinsèquement la fiabilité des mesures optiques. Cela impose également des restrictions quant à l'emplacement d'un panneau solaire utilisé pour recharger la batterie de l'appareil, tous deux situés dans un boîtier séparé fixé et connecté électriquement au boîtier principal de l'appareil.

**[0013]** Il subsiste donc un besoin pour une solution améliorée.

## RÉSUMÉ DE L'INVENTION

**[0014]** Un but général de l'invention est de fournir un appareil pour surveiller l'état de santé d'un arbre qui évite les problèmes et les limitations des solutions connues.

**[0015]** Plus précisément, un but de l'invention est de fournir un tel appareil qui offre un bon compromis entre la représentativité des mesures et la robustesse et la rentabilité de la mise en oeuvre recherchée.

**[0016]** Un autre but de l'invention est de fournir un tel appareil qui puisse effectuer de manière fiable des mesures représentatives de l'état de santé d'un arbre.

**[0017]** Encore un autre but de l'invention est de fournir un tel appareil qui peut être mis en oeuvre avec succès et de manière fiable dans une solution portable et facilement déployable.

**[0018]** Ces objectifs sont atteints grâce aux solutions définies dans les revendications.

**[0019]** Conformément à l'invention, il est proposé un appareil pour surveiller l'état de santé d'un arbre, dont les caractéristiques sont exposées dans la revendication 1, à savoir un tel appareil comprenant des capteurs configurés afin d'effectuer des mesures de paramètres indicatifs de l'état de santé de l'arbre et un système de traitement configuré afin de traiter les mesures fournies par les capteurs. Les capteurs comprennent au moins un capteur multispectral afin d'effectuer des mesures optiques sur un feuillage de l'arbre, lequel capteur multispectral est capable d'effectuer des mesures optiques dans le spectre visible et dans le spectre proche infrarouge (NIR). Selon l'invention, l'appareil est configuré afin de calculer un indice différentiel de végétation normalisé (NDVI) de l'arbre concerné sur la base des mesures optiques effectuées par le capteur multispectral.

**[0020]** Dans un mode de réalisation, le capteur multispectral comprend un premier dispositif de détection capable d'effectuer une première mesure optique dans le spectre bleu et/ou le spectre rouge et un second dispositif de détection capable d'effectuer une seconde mesure optique dans le spectre proche infrarouge. Dans un tel cas, l'indice différentiel de végétation normalisé (NDVI) est de préférence calculé en tenant compte d'un facteur de recalibrage calculé sur la base de mesures optiques effectuées par les premier et second dispositifs de détection dans sensiblement la même bande spectrale. Dans un autre mode de réalisation, le capteur multispectral comprend un unique dispositif de détection capable d'effectuer

à la fois une première mesure optique dans le spectre bleu et/ou le spectre rouge et une seconde mesure optique dans le spectre proche infrarouge (NIR). De préférence, le capteur multispectral est configuré afin d'effectuer la première mesure optique dans le spectre bleu, notamment au niveau d'une bande spectrale centrée à environ 450 nm, et l'appareil est configuré afin de calculer l'indice différentiel de végétation normalisé (NDVI) sur la base de la première mesure optique effectuée dans le spectre bleu et de la seconde mesure optique effectuée dans le spectre proche infrarouge (NIR).

**[0021]** Conformément à un mode de réalisation préféré, les composants électroniques de l'appareil, y compris les capteurs et le système de traitement, sont logés dans un boîtier qui est fixé à l'arbre à surveiller via un support orientable supportant le boîtier, auquel cas l'appareil est configuré de telle sorte que le boîtier soit orientable par rapport à l'arbre au moyen du support orientable de sorte que le capteur multispectral puisse être orienté vers une partie sélectionnée du feuillage de l'arbre. Dans ce contexte, le boîtier comprend préférentiellement une partie de boîtier qui est sensiblement transparente à un spectre de mesure du capteur multispectral. Avantageusement, l'appareil comprend en outre un mécanisme de fixation réglable fixé à une base du support orientable pour une fixation à un tronc ou une branche de l'arbre. Le mécanisme de fixation réglable peut notamment être extensible afin d'éviter un étranglement de l'arbre au fil du temps.

**[0022]** Conformément à un autre aspect de l'invention, les capteurs comprennent en outre un capteur de stabilité afin d'effectuer des mesures de stabilité de l'arbre, et l'appareil est en outre configuré afin de calculer une indication de la stabilité de l'arbre sur la base des mesures effectuées par le capteur de stabilité. Le capteur de stabilité peut notamment comprendre un accéléromètre ou un inclinomètre afin de mesurer un degré d'inclinaison de l'arbre et/ou suivre une évolution au fil du temps du degré d'inclinaison de l'arbre.

**[0023]** Dans un mode de réalisation, l'appareil peut en outre comprendre un capteur de déclenchement, tel un accéléromètre ou un capteur de mouvement similaire, afin de détecter un mouvement soudain de l'arbre. Un tel capteur de déclenchement peut notamment être utilisé afin de réveiller le système en cas de mouvement soudain de l'arbre.

**[0024]** De préférence, l'appareil comprend en outre une batterie afin d'alimenter l'appareil. Une telle batterie peut notamment être rechargeable au moyen d'un dispositif de récupération d'énergie, telle une cellule photovoltaïque. De préférence, la batterie et, le cas échéant, le dispositif de récupération d'énergie, sont logés dans le même boîtier, avec d'autres composants électroniques de l'appareil, notamment les capteurs et le système de traitement.

**[0025]** Conformément à un mode de réalisation particulièrement préféré, l'appareil comprend en outre une unité de communication configurée afin de transmettre des données indicatives de l'état de santé de l'arbre à une station distante, les données transmises par l'unité de communication comprenant ou étant basées au moins sur l'indice différentiel de végétation normalisé (NDVI) calculé par l'appareil.

**[0026]** Dans un mode de réalisation, l'appareil est configuré afin d'alimenter les capteurs uniquement lorsque des mesures doivent être effectuées et, à cette fin, comprend de préférence en outre un premier commutateur afin d'alimenter ou couper sélectivement l'alimentation des capteurs, individuellement ou collectivement. Encore plus préférentiellement, l'appareil est configuré afin d'alimenter les capteurs et/ou l'unité de communication uniquement lorsque des mesures doivent être effectuées, respectivement uniquement lorsque des données doivent être transmises. Dans un tel cas, l'appareil comprend de préférence en outre un premier commutateur afin d'alimenter ou couper sélectivement l'alimentation des capteurs, individuellement ou collectivement, et un second commutateur afin d'alimenter ou couper sélectivement l'alimentation de l'unité de communication.

**[0027]** L'unité de communication susmentionnée peut avantageusement être une unité de communication sans fil configurée afin de transmettre sans fil les données à la station distante, telle une unité de communication sans fil configurée afin de fonctionner selon le protocole de communication LoRaWAN ou NB-IoT.

**[0028]** Enfin, selon un autre mode de réalisation avantageux, l'appareil peut également comprendre un enregistreur de données afin de stocker au moins temporairement des données en attente de leur transmission via l'unité de communication. De plus, les données peuvent optionnellement être stockées sur un support de stockage portable, telle une carte SD.

**[0029]** D'autres modes de réalisation avantageux de l'invention sont discutés ci-dessous.

## DESCRIPTION BRÈVE DES DESSINS

**[0030]** D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée suivante de modes de réalisation de l'invention présentés uniquement à titre d'exemples non limitatifs et illustrés par les dessins annexés dans lesquels :

la Figure 1 est une vue schématique globale d'un système de suivi et de surveillance de l'état de santé d'une population d'arbres équipés chacun d'une unité sensorielle et de collecte de données tel que l'appareil selon l'invention ;

la Figure 2 est une illustration schématique d'un arbre équipé d'un appareil selon un mode de réalisation de l'invention ;

la Figure 3 est une illustration photographique d'un prototype d'un appareil selon un mode de réalisation de l'invention ; et

la Figure 4 est un diagramme schématique fonctionnel de composants électroniques clés d'un appareil selon un mode de réalisation préféré de l'invention.

## DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

**[0031]** La présente invention sera décrite en relation avec divers modes de réalisation illustratifs comme le montrent notamment les Figures 1 à 4. Il faut comprendre que la portée de l'invention englobe toutes les combinaisons et sous-combinaisons des caractéristiques de l'invention divulguées ici telles que définies par les revendications annexées.

**[0032]** La Figure 1 est une vue schématique globale d'un système de suivi et de surveillance de l'état de santé d'une population d'arbres PT comprenant plusieurs spécimens d'arbres A.i (A.1, A.2, A.3, etc.) qui sont chacun équipés d'une unité sensorielle et de collecte de données 10.i (10.1, 10.2, 10.3, etc.). Un tel système est décrit de manière générique dans la publication internationale (PCT) No. WO 2022/049552 A1 mentionnée précédemment en préambule. Les spécimens d'arbres A.i sont répartis géographiquement sur un territoire défini et peuvent indifféremment être des arbres plantés dans des zones urbaines et/ou rurales, qu'il s'agisse de villes, de parcs, de forêts, de vergers, etc. Chaque unité sensorielle et de collecte de données 10.i est configurée afin de permettre la collecte de données de mesure, désignées DATA<sub>A.i</sub>, indicatives d'un état de santé de chaque spécimen d'arbre A.i, lesquelles données DATA<sub>A.i</sub> peuvent être transmises de manière appropriée à un serveur de collecte de données 1000 via par exemple un réseau de communication sans fil adéquat. La collecte de données, désignées DATA<sub>PT</sub>, ainsi collectées à partir des multiples points de collecte de données peut ensuite être traitée par exemple sur un poste de travail distant 1000\* afin de suivre l'état de santé de l'ensemble de la population d'arbres PT, à la fois collectivement et individuellement. Le serveur de collecte de données 1000 peut être un serveur cloud accessible sur Internet, et le poste de travail distant 1000\* peut en fait être n'importe quel poste de travail approprié 1000\*, y compris un poste informatique ou un smartphone ou une tablette ayant accès aux données collectées par le serveur de collecte de données 1000.

**[0033]** La Figure 2 est une illustration schématique d'un arbre TR, représentatif de l'un quelconque des spécimens d'arbre concernés A.i représentés sur la Figure 1, équipé d'un appareil, désigné par le numéro de référence 100, selon un mode de réalisation possible de l'invention, lequel appareil 100 peut agir comme une unité sensorielle et de collecte de données appropriée 10.i dans le contexte du système représenté sur la Figure 1. L'appareil 100 est spécifiquement conçu afin de surveiller l'état de santé de l'arbre TR en effectuant, de préférence, une combinaison de mesures, à savoir des mesures optiques sur un feuillage FO de l'arbre TR ainsi que des mesures de stabilité de l'arbre TR. Comme cela sera décrit ci-après, l'appareil 100 est équipé de capteurs dédiés afin d'effectuer de telles mesures, ainsi que d'un système de traitement associé configuré afin de traiter les mesures. De préférence, les données collectées par l'appareil 100 sont en outre transmises, sans fil, à une station distante (telle serveur de collecte de données 1000 représenté sur la Figure 1) via un réseau de communication sans fil adéquat. Dans l'exemple illustré, l'appareil 100 est de préférence fixé à un tronc TK de l'arbre TR au moyen d'un mécanisme de fixation approprié 155. De manière encore plus préférée, l'appareil 100 est couplé au mécanisme de fixation 155 via un support orientable 150 de sorte que l'appareil 100 puisse être orienté de manière appropriée pour observer une partie souhaitée du feuillage FO, à savoir en orientant un champ de vision FV de l'appareil 100 vers la partie souhaitée du feuillage FO comme représenté schématiquement. Les composants électroniques de l'appareil 100, y compris les capteurs susmentionnés et le système de traitement associé, sont logés de manière appropriée dans un boîtier 130 qui est monté sur le support orientable 150.

**[0034]** En pratique, l'appareil 100 est de préférence fixé à l'arbre TR à une position élevée le long du tronc TK de manière à être hors de portée immédiate des passants, de préférence à une hauteur de l'ordre de 2.5 mètres à 3 mètres.

**[0035]** Le support orientable 150 peut être n'importe quel mécanisme de support approprié qui peut être ajusté afin de changer une orientation du boîtier 130 et être verrouillé en place afin de garantir que le boîtier soit fixé de manière stable au tronc TK associé. Le support orientable 150 peut notamment être constitué d'une liaison articulée à un ou plusieurs degrés de liberté, comprenant par exemple un bras réglable monté sur un pivot ou une rotule de manière à être verrouillable dans une parmi de multiples orientations possibles. Le mécanisme de fixation réglable 155 est de préférence extensible de manière à éviter un étranglement de l'arbre TR au fil du temps, et peut notamment comprendre une ceinture de fixation extensible (et système de tension associé) enroulable autour du tronc TR (ou branche) de l'arbre TR.

**[0036]** La Figure 3 est une illustration photographique d'un prototype d'un appareil 100 selon un mode de réalisation de l'invention, représenté ici fixé à une section sciée d'un tronc TK. Visible sur la Figure 3 est le mécanisme de fixation 155 comprenant, dans l'exemple illustré, une ceinture extensible enroulée autour du tronc TK, le support orientable 150 supporté via une base de celui-ci sur le mécanisme de fixation 155, ainsi que le boîtier 130 abritant les composants électroniques de l'appareil 100, comprenant un module électronique 110 portant des capteurs 10A, 10B.

**[0037]** Comme on l'appréciera par la suite, le module électronique 110 comprend au moins un capteur multispectral, désigné par le signe de référence 10A, destiné à effectuer des mesures optiques sur le feuillage FO de l'arbre TR, et, de préférence, un capteur de stabilité, désigné par le signe de référence 10B, destiné à effectuer des mesures de stabilité de l'arbre TR. À cet égard, le boîtier 130 comprend une partie de boîtier (ici une section de couvercle 130A) qui est sensiblement transparente à un spectre de mesure du capteur multispectral 10A. Bien que la Figure 3 montre la présence

d'une section de couvercle sensiblement transparente 130A, on comprendra que le boîtier 130 peut en variante être pourvu d'une ou plusieurs fenêtres dédiées positionnées le long du champ de vision FV du capteur multispectral 10A.

[0038] Dans l'exemple illustré, le module électronique 110 est en outre pourvu d'une cellule photovoltaïque PV agissant comme dispositif de récupération d'énergie de sorte à fournir de l'énergie afin de recharger une batterie (non représentée) de l'appareil 100. À cet égard, la cellule photovoltaïque PV peut être située à l'intérieur du boîtier 130, comme illustré, protégé par la section de couvercle 130A, ou peut en variante être positionné sur une partie externe du boîtier 130.

[0039] La Figure 4 est un diagramme schématique fonctionnel de composants électroniques clés de l'appareil selon un mode de réalisation préféré de l'invention. Dans l'exemple illustré, tous les composants électroniques clés sont avantageusement prévus sur un module électronique commun 110 comprenant :

- un microcontrôleur ou microprocesseur 115 gérant la majeure partie du traitement des données ;
- le capteur multispectral 10A (comprenant ici un premier et un second dispositifs de détection 10A-1, 10A-2);
- le capteur de stabilité 10B ;
- un capteur de déclenchement 10C ;
- un premier commutateur SW1 afin de contrôler l'alimentation en énergie des capteurs 10A, 10B ;
- une unité de communication sans fil 120 ;
- un second commutateur SW2 afin de contrôler l'alimentation en énergie de l'unité de communication sans fil 120 ;
- un enregistreur de données 125 ;
- une batterie rechargeable BAT;
- un circuit de charge CHR afin de contrôler la charge de la batterie BAT ; et
- la cellule photovoltaïque PV.

[0040] La mise en oeuvre de tous les composants électroniques concernés de l'appareil 100 sur un même module PCB 110 apporte des avantages en termes de fiabilité et de rentabilité de production par rapport aux solutions connues reposant par exemple sur l'utilisation de plusieurs dispositifs interconnectés.

[0041] Des capteurs supplémentaires pourraient être fournis en cas de besoin, notamment des capteurs capables de mesurer des paramètres représentatifs de l'environnement dans lequel l'arbre TR est planté, par exemple la température et l'humidité de l'environnement. En référence à la divulgation de la publication internationale (PCT) No. WO 2022/049552 A1, dont le contenu est incorporé ici par référence, de tels capteurs supplémentaires pourraient être positionnés à d'autres emplacements souhaités sur ou à côté de l'arbre TR, y compris, par exemple, dans le sol, à côté des racines de l'arbre TR afin de mesurer l'humidité du sol. Dans un tel cas, les capteurs supplémentaires pourraient devoir être situés à distance du boîtier 130 abritant les composants électroniques clés de l'appareil 100, et le couplage opérationnel avec le module électronique 110 pourrait être assuré par une connexion filaire appropriée à chaque capteur distant ou via une interconnexion sans fil locale entre le module électronique 110 et chaque capteur distant. De tels capteurs supplémentaires pourraient en effet être prévus à n'importe quel emplacement souhaité, y compris par exemple sur le support orientable 150 ou sur la base de celui-ci.

[0042] L'unité de communication sans fil 120 susmentionnée est de préférence une unité de communication sans fil fonctionnant selon le protocole de communication LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), qui permet typiquement une communication sans fil sur une portée de l'ordre de 5 à 10 km avec une consommation d'énergie relativement faible (en supposant qu'une couverture réseau correspondante et adéquate soit présente dans la pratique). Des modules LoRa adaptés sont disponibles sur le marché auprès de la société Semtech Corporation (<https://www.semtech.com/>).

[0043] D'autres protocoles de communication à faible consommation peuvent être envisagés, notamment le protocole de communication NB-IoT (Narrowband Internet of Things). Les protocoles LoRaWAN et NB-IoT entrent de préférence en considération dans la mesure où chacun de ces protocoles prévoit la mise en place d'un réseau étendu à faible consommation permettant une communication sans fil de données sur une portée relativement longue (à savoir de l'ordre de 5 à 15 km selon la technologie) et ce avec de faibles besoins en énergie, ce qui est essentiel pour garantir la viabilité de la solution qui doit, par essence, être portable et facilement déployable sur une zone potentiellement étendue.

[0044] Il peut également être envisagé de transmettre des données sans fil sur tout réseau cellulaire approprié (tel un réseau GSM ou GPRS) ou via une liaison satellite montante appropriée.

[0045] Les commutateurs SW1, SW2, qui peuvent être constitués de simples commutateurs MOS-FET, sont conçus afin de permettre d'alimenter ou de couper sélectivement l'alimentation des capteurs associés 10A, 10B (ici collectivement)

et de l'unité de communication 120, respectivement. Plus précisément, il est avantageusement envisagé d'alimenter les capteurs 10A, 10B et l'unité de communication 120 uniquement lorsque des mesures doivent être effectuées et respectivement uniquement lorsque des données doivent être transmises, ce qui est essentiel afin de garantir que l'appareil 100 puisse fonctionner de manière appropriée avec l'énergie fournie par la batterie BAT. À cet égard, la cellule photovoltaïque PV contribue à augmenter l'autonomie en énergie de l'appareil 100 afin de rester en fonctionnement pendant de longues durées, comme cela pourrait être nécessaire afin d'assurer un bon suivi de l'état de santé de l'arbre TR, à savoir sur plusieurs mois, voire plusieurs années.

**[0046]** En d'autres termes, l'appareil 100 est de préférence configuré de manière à être mis en mode veille à faible consommation à des moments où aucune mesure n'est requise, afin d'économiser de l'énergie, et à être périodiquement réveillé dans le but d'effectuer les mesures souhaitées. La fréquence à laquelle les mesures sont effectuées peut varier en fonction de considérations et d'exigences pratiques. A titre d'illustration, l'appareil 100 peut par exemple être réveillé toutes les dix minutes afin d'effectuer et/ou transmettre les mesures concernées, mais une fréquence de fonctionnement plus ou moins élevée peut être envisagée. La fréquence de fonctionnement peut également être réduite en cas de faible charge de la batterie.

**[0047]** Comme les données peuvent n'être envoyées que sur une base périodique, l'enregistreur de données 125 est prévu afin d'assurer un stockage temporaire des données (qu'il s'agisse de données de mesure brutes provenant des capteurs 10A, 10B ou de données traitées telles que traitées par le microcontrôleur/microprocesseur 115) en attente de leur transmission via l'unité de communication 120. Cet enregistreur de données 125 est également là afin de garantir que les données ne soient pas perdues en cas de panne d'énergie. À cet égard, l'on peut en outre envisager le stockage de données sur un support de stockage portable approprié, telle une carte SD ou similaire.

**[0048]** L'objectif principal du capteur de déclenchement 10C est de détecter un mouvement soudain de l'arbre TR, qui peut être déclenché par des facteurs critiques tels que la chute soudaine de l'arbre TR ou tout autre événement critique affectant l'intégrité structurelle de l'arbre TR. Le capteur de déclenchement 10C peut notamment être constitué par exemple d'un capteur de mouvement tel un accéléromètre à trois axes comme par exemple commercialisé par la société STMicroelectronics (<https://www.st.com/>) sous la référence produit LIS2DH12, qui est un accéléromètre linéaire à trois axes à très faible consommation et haute performance. Le capteur de déclenchement 10C est ici principalement utilisé afin de réveiller le système en cas de mouvement soudain de l'arbre TR. Des mesures pourraient en outre être envisagées afin de doter l'appareil 100 d'un dispositif d'alarme de sorte à produire une alarme sonore dans le cas où le capteur de déclenchement 10C détecte un mouvement soudain de l'arbre TR.

**[0049]** Selon l'invention, le capteur multispectral 10A est conçu afin d'effectuer des mesures optiques sur le feuillage FO de l'arbre TR - comme schématisé sur la Figure 2 - et l'appareil 100 est configuré afin de calculer un indice différentiel de végétation normalisé (en abrégé, „NDVI“) de l'arbre TR concerné sur la base de telles mesures optiques. Plus précisément, le capteur multispectral 10A est capable d'effectuer des mesures optiques dans le spectre visible et dans le spectre proche infrarouge (NIR).

**[0050]** La justification du NDVI est que les plantes vertes vivaces (y compris les arbres) absorbent le rayonnement solaire dans la région spectrale du rayonnement photosynthétiquement actif („Photosynthetically Active Radiation“, ou PAR) (c'est-à-dire dans la bande de longueurs d'onde allant approximativement de 400 à 700 nm), que les plantes vertes vivaces utilisent comme source d'énergie dans le processus de photosynthèse. Une partie de cette énergie est réémise dans le domaine spectral du proche infrarouge (NIR), c'est-à-dire dans la bande de longueurs d'onde allant de 700 à 1'100 nm. En d'autres termes, les plantes vertes vivaces et saines apparaissent relativement sombres dans la région spectrale PAR et relativement brillantes dans la région spectrale NIR. En effet, la chlorophylle, pigment vert le plus abondant présent dans les plantes vertes, est majoritairement absorbante dans les spectres bleu et rouge, à savoir à ou vers 450 nm pour la chlorophylle b et à ou vers 650 nm pour la chlorophylle a.

**[0051]** D'un point de vue analytique, le NDVI est généralement calculé comme une mesure différentielle entre la réflectivité mesurée dans le spectre rouge et le spectre proche infrarouge (NIR), conformément au rapport suivant :

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

où IR est la réflectivité mesurée dans le spectre proche infrarouge et R est la réflectivité mesurée dans le spectre rouge. Cela correspond à l'activité de photosynthèse liée majoritairement à la chlorophylle a. Cependant, il est également possible de mesurer la réflectivité dans le spectre bleu, qui correspond à l'activité de photosynthèse liée principalement à la chlorophylle b, et de calculer également un NDVI correspondant. Dans ce cas, le même rapport est calculé, la principale différence résidant dans R désignant dans ce cas la réflectivité mesurée dans le spectre bleu.

**[0052]** Dans un mode de réalisation, comme représenté schématiquement sur la Figure 4, le capteur multispectral 10A comprend un premier dispositif de détection 10A-1 qui est sensible au spectre visible afin d'effectuer une première mesure optique dans le spectre rouge (ou bleu) et un second dispositif de détection 10A-2 sensible au spectre proche infrarouge (NIR) afin d'effectuer une seconde mesure optique dans le spectre proche infrarouge (NIR). Le prototype représenté sur la Figure 3 a été conçu sur cette base et il a été fait usage de capteurs multispectraux disponibles auprès de la société ams-OSRAM AG (<https://ams-osram.com/>) sous les références produits AS7262 et AS7263. Le composant AS7262 est

un capteur multispectral avec une sensibilité dans le spectre visible, à savoir dans six canaux de mesure (ou bandes spectrales) à et autour de 450 nm, 500 nm, 550 nm, 570 nm, 600 nm et 650 nm. Le composant AS7263 est un capteur multispectral avec une sensibilité dans les spectres rouge et proche infrarouge (NIR), à savoir dans six canaux de mesure (ou bandes spectrales) à et autour de 610 nm, 680 nm, 730 nm, 760 nm, 810 nm et 860 nm.

**[0053]** De préférence, le NDVI est calculé dans ce cas en référence à la bande spectrale centrée à 450 nm, soit dans le spectre bleu, (en utilisant le composant AS7262 précité) et la bande spectrale centrée à 860 nm (en utilisant le composant AS7263 précité), des tests ayant démontré que cette sélection particulière donne les meilleurs résultats.

**[0054]** Comme deux capteurs multispectraux distincts sont utilisés dans ce cas, un rééquilibrage des deux capteurs a été effectué en supposant que les mesures optiques effectuées avec les deux capteurs dans la même bande spectrale devaient donner les mêmes valeurs. Dans le cas présent, on suppose que la bande spectrale centrée à 600 nm (en utilisant le composant AS7262) et la bande spectrale centrée à 610 nm (en utilisant le composant AS7263) devraient donner sensiblement les mêmes valeurs.

**[0055]** Autrement dit, en considérant l'exemple illustratif mentionné ci-dessus, le NDVI est de préférence calculé selon le ratio suivant :

$$NDVI = \frac{R860 - R450 * C}{R860 + R450 * C}$$

où R860 est la réflectivité mesurée à environ 860 nm (à l'aide du composant AS7263), R450 est la réflectivité mesurée à environ 450 nm (à l'aide du composant AS7262) et C est un facteur de recalibrage calculé comme suit :

$$C = \frac{R610}{R600}$$

où R610 est la réflectivité mesurée à environ 610 nm (en utilisant le composant AS7263) et R600 est la réflectivité mesurée à environ 600 nm (en utilisant le composant AS7262).

**[0056]** L'exemple ci-dessus illustre un mode de réalisation possible de l'invention qui suppose l'utilisation de deux composants multispectraux distincts facilement disponibles sur le marché. Il convient en outre d'apprécier que cet exemple prend en compte les spécifications concernées de chaque composant et les contraintes inhérentes qui en résultent. D'autres combinaisons de capteurs pourraient être envisagées, auquel cas la méthodologie de calcul pourrait devoir être adaptée en conséquence.

**[0057]** Dans d'autres modes de réalisation, l'on pourrait parfaitement envisager d'utiliser un seul capteur multispectral présentant une sensibilité dans les deux bandes spectrales concernées, à savoir dans le spectre bleu et/ou le spectre rouge (par exemple à ou autour d'environ 450 nm et/ou 650 nm, respectivement), d'une part, et dans le spectre proche infrarouge (NIR) (par exemple dans une bande spectrale sélectionnée d'environ 700 nm à 1'100 nm), d'autre part. Dans un tel cas, l'on peut avantageusement se passer de tout recalibrage puisqu'un seul dispositif de détection est utilisé.

**[0058]** Une singularité de l'approche précitée réside dans le fait que le capteur multispectral 10A sera typiquement orienté vers le haut vers le feuillage FO de l'arbre TR et qu'une partie du ciel bleu pourra de fait être présente dans le champ de vision FV du capteur 10A en fonction de la densité concernée du feuillage FO, qui peut varier au cours de l'année. En d'autres termes, en supposant un arbre au feuillage non persistant changeant de couleur à l'automne et disparaissant au cours de l'hiver, la réflectivité dans les bandes spectrales concernées montrera des variations significatives au cours de l'année, le NDVI augmentant au printemps et en été lorsque le FO du feuillage est le plus dense et vert, et le NDVI diminuant durant l'automne et l'hiver où le feuillage FO est moins dense, voire inexistant, et change de couleur.

**[0059]** Conformément au mode de réalisation préféré représenté schématiquement sur la Figure 4, les capteurs comprennent en outre un capteur de stabilité 10B afin d'effectuer des mesures de stabilité de l'arbre TR, et l'appareil 100 est en outre configuré afin de calculer une indication de la stabilité de l'arbre TR. sur la base des mesures effectuées par le capteur de stabilité 10B. Un tel capteur de stabilité 10B peut notamment comprendre un accéléromètre ou un inclinomètre afin de mesurer un degré d'inclinaison de l'arbre TR et/ou suivre une évolution au fil du temps du degré d'inclinaison de l'arbre TR. À titre d'illustration, le prototype représenté sur la Figure 3 a été conçu sur la base d'un inclinomètre trois axes de haute précision tel que disponible auprès de la société muRata (<https://www.murata.com/>) sous la référence produit SCL3300. Un tel inclinomètre est capable de fournir une mesure d'angles d'inclinaison avec une résolution de sortie de 0.0055°/LSB.

**[0060]** Dans le présent exemple, le capteur de stabilité 10B est configuré afin de mesurer un mouvement de l'appareil 100 (qui est supposé être solidaire de l'arbre TR et suit ainsi le mouvement de celui-ci). Un étalonnage est effectué après le montage de l'appareil 100 dans la position finale concernée sur l'arbre afin d'obtenir une valeur de référence pour comparaison ultérieure. Si l'arbre TR se déplace, produisant un mouvement correspondant de l'appareil 100, et donc du capteur de stabilité 10B, un changement correspondant est détecté par l'inclinomètre 10B, qui permet à son tour de calculer une indication de l'évolution au fil du temps du degré d'inclinaison de l'arbre TR. En effet, par un traitement adéquat des informations fournies par l'inclinomètre 10B, l'on peut déterminer le degré d'inclinaison et son évolution éventuelle, ainsi que, potentiellement, la direction dans laquelle se déplace l'arbre TR. Comme la seule force appliquée sur l'inclinomètre 10B est celle générée par la gravité (en supposant que l'arbre reste stable pendant la mesure), un mouvement de rotation

autour de l'axe vertical concerné peut ne pas provoquer de modification des composantes de mesure concernés de l'inclinomètre 10B. Il peut donc être difficile de déterminer la direction du mouvement de l'arbre TR avec une grande précision, et seule une indication grossière d'une telle direction du mouvement pourrait potentiellement être déterminée dans la pratique. Ceci étant, une telle indication brute est néanmoins suffisante afin de déterminer et évaluer le risque de chute de l'arbre TR sur une zone déterminée, telle une route ou un sentier piétonnier voisin.

**[0061]** Diverses modifications et/ou améliorations peuvent être apportées aux modes de réalisation décrits ci-dessus sans sortir du cadre de l'invention tel que défini par les revendications annexées.

## LISTE DES CHIFFRES DE RÉFÉRENCE ET DES SIGNES UTILISÉS

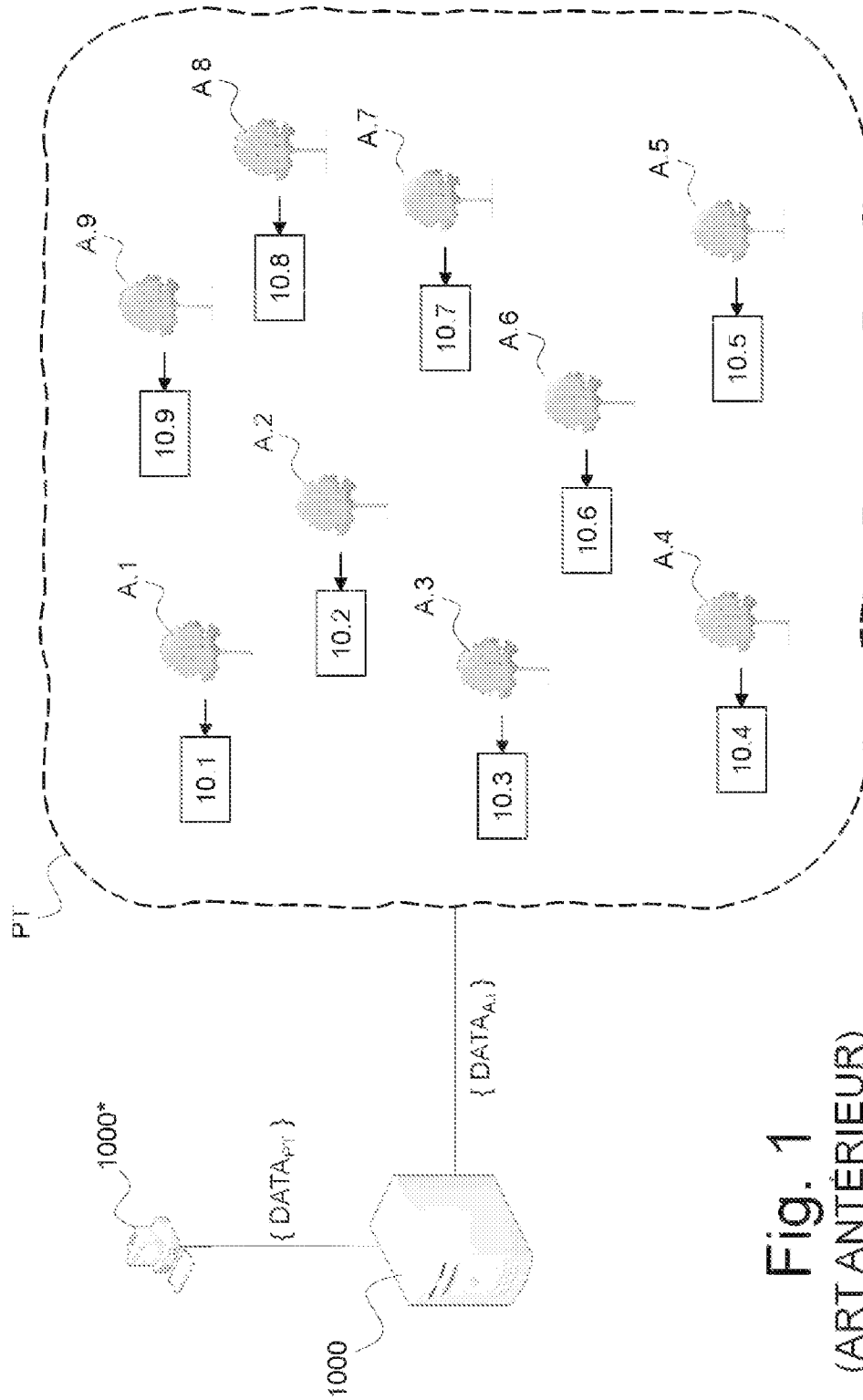
### [0062]

|       |                                                                                                               |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 100   | appareil pour surveiller l'état de santé de l'arbre TR                                                        |
| 10A   | capteur multispectral 10A                                                                                     |
| 10A-1 | dispositif de détection sensible au spectre visible (notamment spectre bleu et/ou rouge)                      |
| 10A-2 | dispositif de détection sensible au spectre proche infrarouge (NIR)                                           |
| 10B   | capteur de stabilité (par exemple accéléromètre ou inclinomètre)                                              |
| 10C   | capteur de déclenchement (par exemple accéléromètre ou capteur de mouvement similaire)                        |
| 110   | module électronique                                                                                           |
| 115   | microcontrôleur/microprocesseur                                                                               |
| 120   | unité émettrice-réceptrice (par exemple unité LoRaWAN)                                                        |
| 125   | enregistreur de données (DL)                                                                                  |
| 130   | boîtier                                                                                                       |
| 130A  | couvercle transparent                                                                                         |
| 150   | support orientable                                                                                            |
| 155   | mécanisme de fixation réglable                                                                                |
| BAT   | batterie rechargeable BAT                                                                                     |
| CHR   | circuit de recharge de batterie                                                                               |
| PV    | cellule photovoltaïque                                                                                        |
| SW1   | (premier) commutateur (alimentation des capteurs 10A, 10B)                                                    |
| SW2   | (second) commutateur (alimentation de l'unité émettrice-réceptrice 120)                                       |
| TR    | arbre                                                                                                         |
| TK    | tronc d'arbre                                                                                                 |
| FO    | feuillage de l'arbre TR                                                                                       |
| FV    | champ de vision du capteur multispectral 10A                                                                  |
| PT    | population de spécimens d'arbres A.i surveillés                                                               |
| A.i   | spécimens d'arbres individuels                                                                                |
| 10.i  | unité sensorielle et de collecte de données (par exemple appareil 100) prévue sur chaque spécimen d'arbre A.i |
| 1000  | serveur distant pour la collecte de données                                                                   |
| 1000* | poste de travail distant pour le traitement des données                                                       |

## Revendications

- Appareil (100) pour surveiller l'état de santé d'un arbre (TR) comprenant des capteurs (10A, 10B) configurés afin d'effectuer des mesures de paramètres indicatifs de l'état de santé de l'arbre (TR) et un système de traitement (110, 115) configuré afin de traiter les mesures fournies par les capteurs (10A, 10B), dans lequel les capteurs (10A, 10B) comprennent au moins un capteur multispectral (10A) afin d'effectuer des mesures optiques sur un feuillage (FO) de l'arbre (TR), lequel capteur multispectral (10A) est capable d'effectuer des mesures optiques dans le spectre visible et dans le spectre proche infrarouge (NIR), caractérisé en ce que l'appareil (100) est configuré afin de calculer un indice différentiel de végétation normalisé (NDVI) de l'arbre concerné (TR) sur la base des mesures optiques effectuées par le capteur multispectral (10A).
- Appareil (100) selon la revendication 1, dans lequel le capteur multispectral (10A) comprend un premier dispositif de détection (10A-1) capable d'effectuer une première mesure optique dans le spectre bleu et/ou le spectre rouge et un second dispositif de détection (10A-2) capable d'effectuer une seconde mesure optique dans le spectre proche infrarouge (NIR), et dans lequel l'indice différentiel de végétation normalisé (NDVI) est de préférence calculé en tenant compte d'un facteur de recalibrage calculé sur la base de mesures optiques effectuées par les premier et second dispositifs de détection (10A-1, 10A-2) dans sensiblement la même bande spectrale.
- Appareil (100) selon la revendication 1, dans lequel le capteur multispectral (10A) comprend un unique dispositif de détection capable d'effectuer à la fois une première mesure optique dans le spectre bleu et/ou le spectre rouge et une seconde mesure optique dans le proche infrarouge (NIR).

4. Appareil selon la revendication 2 ou 3, dans lequel le capteur multispectral (10A) est configuré afin d'effectuer la première mesure optique dans le spectre bleu, notamment au niveau d'une bande spectrale centrée à environ 450 nm, et dans lequel l'appareil (100) est configuré afin de calculer l'indice différentiel de végétation normalisé (NDVI) sur la base de la première mesure optique effectuée dans le spectre bleu et de la seconde mesure optique effectuée dans le spectre proche infrarouge (NIR).
5. Appareil (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les composants électroniques de l'appareil (100), y compris les capteurs (10A, 10B) et le système de traitement (110, 115), sont logés dans un boîtier (100). 130 qui est fixé à l'arbre (TR) à surveiller via un support orientable (150) supportant le boîtier (130), et dans lequel l'appareil (100) est configuré de telle sorte que le boîtier (130) est orientable par rapport à l'arbre (TR) au moyen du support orientable (150) de sorte que le capteur multispectral (10A) puisse être orienté vers une partie sélectionnée du feuillage (FO) de l'arbre (TR).
6. Appareil (100) selon la revendication 5, dans lequel le boîtier (130) comprend une partie de boîtier (130A) qui est sensiblement transparente à un spectre de mesure du capteur multispectral (10A).
7. Appareil (100) selon la revendication 5 ou 6, comprenant en outre un mécanisme de fixation réglable (155) fixé à une base du support orientable (150) pour fixation à un tronc (TK) ou une branche de l'arbre (TR), dans lequel le mécanisme de fixation réglable (155) est de préférence extensible afin d'éviter un étranglement de l'arbre (TR) au fil du temps.
8. Appareil (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les capteurs (10A, 10B) comprennent en outre un capteur de stabilité (10B) afin d'effectuer des mesures de stabilité de l'arbre (TR), dans lequel l'appareil (100) est en outre configuré afin de calculer une indication de la stabilité de l'arbre (TR) sur la base des mesures effectuées par le capteur de stabilité (10B), et dans lequel le capteur de stabilité (10B) comprend de préférence un accéléromètre ou un inclinomètre afin de mesurer un degré d'inclinaison de l'arbre (TR) et/ou surveiller un changement au fil du temps du degré d'inclinaison de l'arbre (TR).
9. Appareil (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre un capteur de déclenchement (10C), tel un accéléromètre ou un capteur de mouvement similaire, afin de détecter un mouvement soudain de l'arbre (TR).
10. Appareil (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une batterie (BAT) afin d'alimenter l'appareil (100), dans lequel la batterie (BAT) est de préférence rechargeable au moyen d'un dispositif de récupération d'énergie, telle une cellule photovoltaïque (PV), et dans lequel la batterie (BAT) et, le cas échéant, le dispositif de récupération d'énergie, sont préférentiellement logés dans le même boîtier (130), avec d'autres composants électroniques de l'appareil (100), y compris les capteurs (10A, 10B) et le système de traitement (110, 115).
11. Appareil (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une unité de communication (120) configurée afin de transmettre des données indicatives de l'état de santé de l'arbre (TR) à une station distante (1000, 1000\*), et dans lequel les données transmises par l'unité de communication (120) comprennent ou sont basées au moins sur l'indice différentiel de végétation normalisé (NDVI) calculé par l'appareil (100).
12. Appareil (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'appareil (100) est configuré afin d'alimenter les capteurs (10A, 10B) uniquement lorsque des mesures doivent être effectuées, et dans lequel l'appareil (100) comprend de préférence en outre un premier commutateur (SW1) afin d'alimenter ou couper sélectivement l'alimentation des capteurs (10A, 10B), individuellement ou collectivement.
13. Appareil (100) selon la revendication 11, dans lequel l'appareil (100) est configuré afin d'alimenter les capteurs (10A, 10B) et/ou l'unité de communication (120) uniquement lorsque des mesures doivent être effectuées, respectivement uniquement lorsque des données doivent être transmises, et dans lequel l'appareil (100) comprend de préférence en outre un premier commutateur (SW1) afin d'alimenter ou couper sélectivement l'alimentation des capteurs (10A, 10B), individuellement ou collectivement, et un second commutateur (SW2) afin d'alimenter ou couper sélectivement l'alimentation de l'unité de communication (120).
14. Appareil (100) selon la revendication 11 ou 13, dans lequel l'unité de communication (120) est une unité de communication sans fil (120) configurée afin de transmettre sans fil les données à la station distante (1000, 1000\*), et dans lequel l'unité de communication sans fil (120) est de préférence configurée afin de fonctionner selon le protocole de communication LoRaWAN ou NB-IoT.
15. Appareil (100) selon l'une quelconque des revendications 11, 13 et 14, comprenant en outre un enregistreur de données (125) afin de stocker au moins temporairement des données en attente de leur transmission via l'unité de communication (120), et dans lequel les données sont optionnellement stockées sur un support de stockage portable, telle une carte SD.



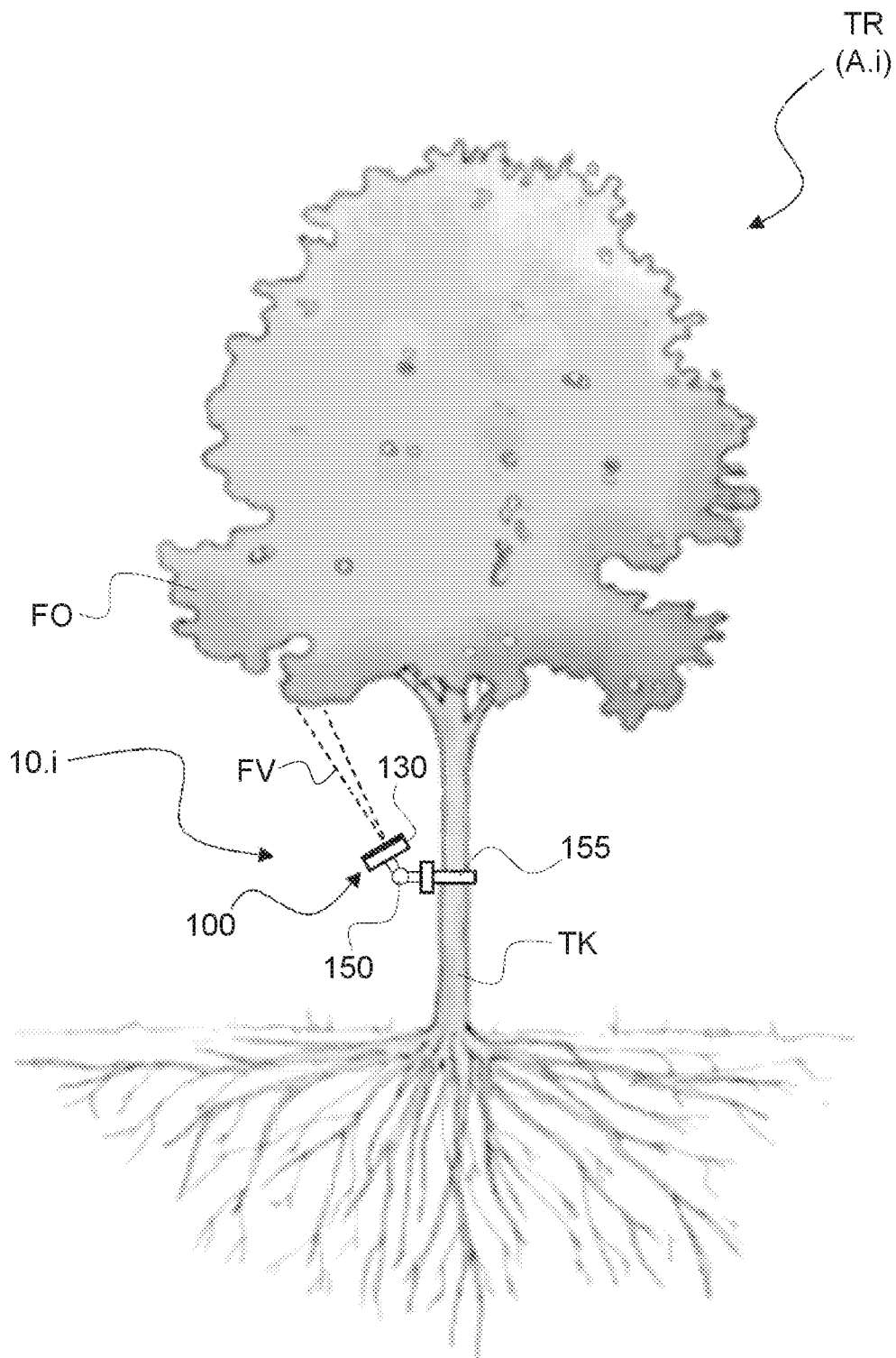
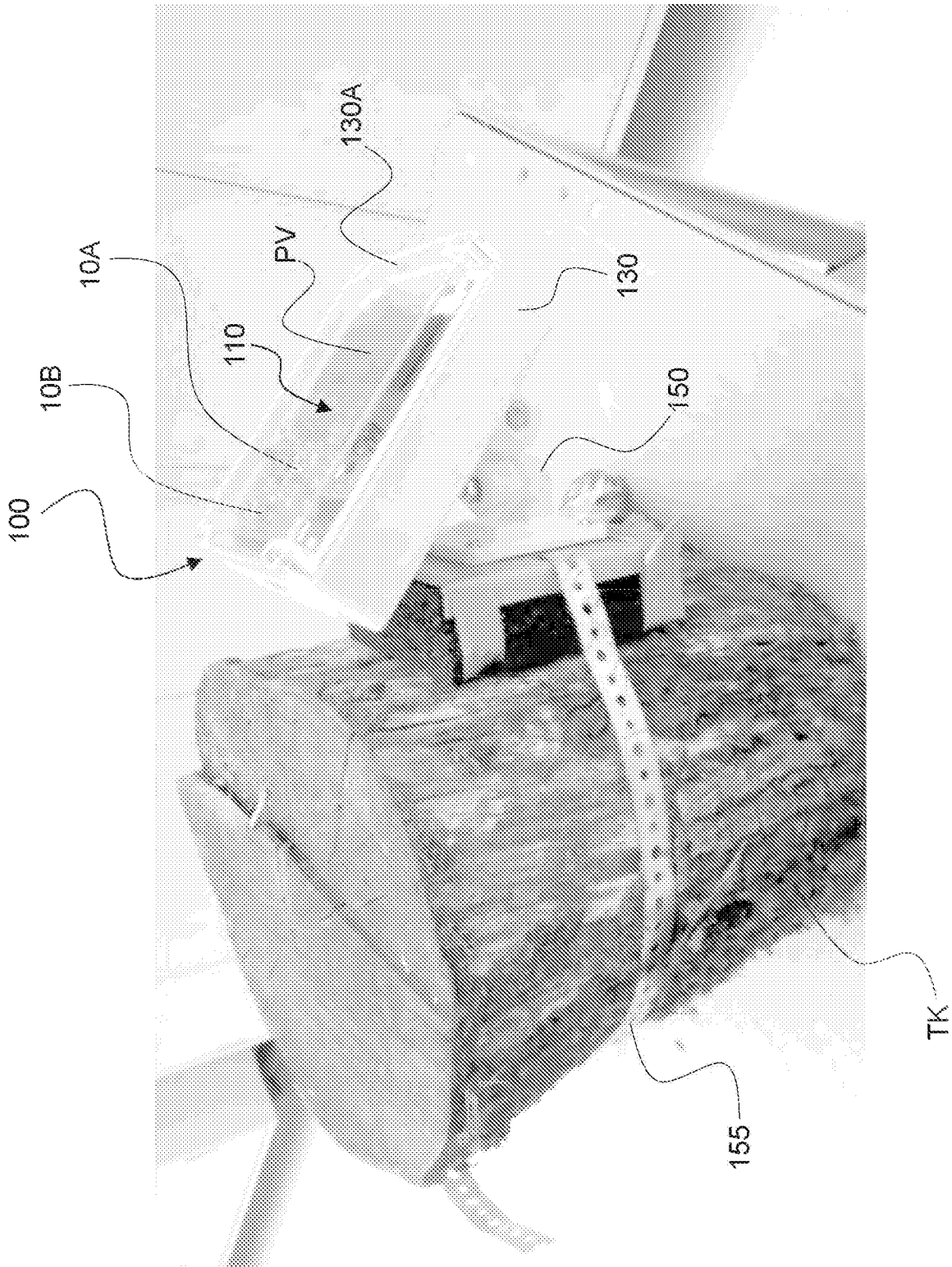


Fig. 2



உ  
த  
ம

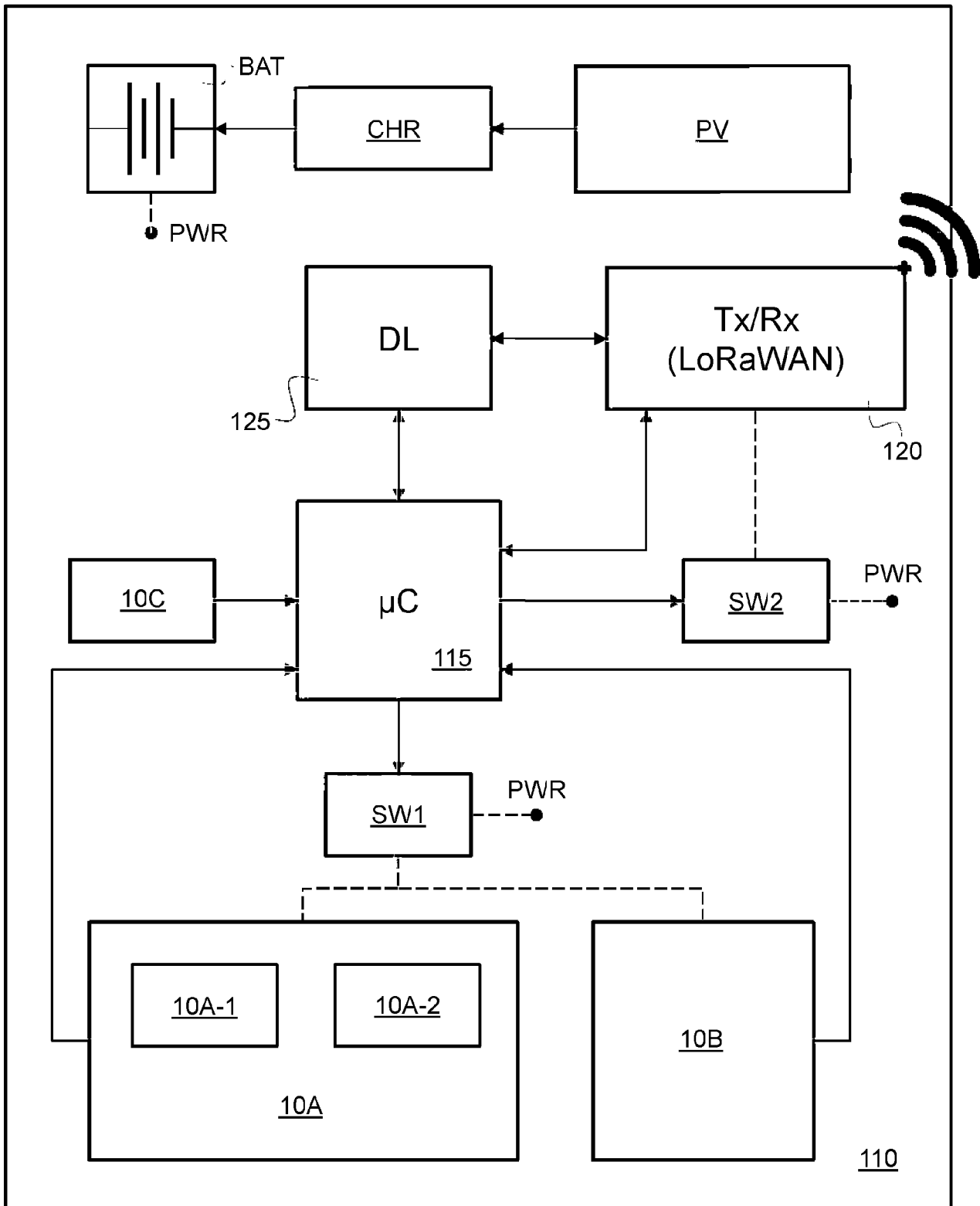


Fig. 4