

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ Procédé et dispositif de détection de chute par capture inertielle.

②② Date de dépôt : 15.07.22.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 19.01.24 Bulletin 24/03.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 23.08.24 Bulletin 24/34.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : BOUTET Jérôme.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public.

⑦④ Mandataire(s) : BREVALEX.



Description

Titre de l'invention : Procédé et dispositif de détection de chute par capture inertielle

DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTERIEUR

- [0001] L'invention porte sur un procédé et un dispositif de détection de chute automatique reposant sur un ou des capteurs portés par une personne physique.
- [0002] L'accéléromètre est le capteur le plus souvent utilisé pour la détection de chute, y compris dans les études récentes. Le gyromètre est plus rare, car son apport en termes de performance ne justifie pas toujours l'augmentation de consommation électrique induite. Le baromètre est très rarement utilisé en raison de son bruit important et d'une possible redondance avec l'accéléromètre.
- [0003] Les premiers modèles de détection reposaient sur un ou plusieurs seuillages sur des caractéristiques extraites des signaux telles que la norme de l'accélération, la vitesse au point d'impact, ou le changement angulaire. Malgré des taux de détection annoncés corrects, le nombre très élevé de fausses alertes (plusieurs par jour) ne les rendaient pas adaptés à une utilisation quotidienne. En institution de personnes nécessitant des soins (par exemple : EHPAD), ces dispositifs ont été abandonnés par les équipes soignantes du fait de ces faux positifs qui engendraient du travail supplémentaire sur des équipes déjà très sollicitées par ailleurs. Le fait de relever les seuils de détection solutionne ces problèmes de fausses alertes (meilleure spécificité), mais détériore les performances en termes de bonne détection (moins bonne sensibilité).
- [0004] Pour résoudre le problème des fausses alertes, des approches basées sur de l'apprentissage supervisé ont vu le jour, ainsi que des bases de données plus conséquentes (plusieurs dizaines de sujets). Les premiers modèles utilisés (*Support Vector Machines*, *k-Nearest Neighbours*, *Random Forests*,) ont progressivement laissé la place à des méthodes ensemblistes telles que le *Gradient Boosting*, et à l'apprentissage profond (*Deep Learning*).
- [0005] Ces dernières utilisent généralement des réseaux de types récurrents comme les *Long Short Term Memory* pour classifier les chutes à partir des signaux bruts d'un accéléromètre. Ils offrent un gain en performance significatif par rapport aux méthodes de *Machine Learning* traditionnelles, mais au détriment d'une complexité accrue.
- [0006] L'article de N.Zurbuchen et al. « A comparison of machine learning algorithms for fall detection using wearable sensors », Conference Paper of the IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication, 19/02/20 - 21/02/20, DOI: 10.1109/ICAIIIC48513.2020.9065205, décrit un système de détection de chute reposant sur l'analyse de signaux accélérométriques et gyrométriques, et sur

l'extraction de certains prédicteurs temporels et fréquentiels relativement complexes et coûteux en termes de temps de calcul (comme la Densité Spectrale de Puissance) et sur la mise en œuvre d'un classifieur ensembliste (« Gradient Boosting Trees »).

[0007] L'article de T. R. Mauldin et al. « Smartfall: a smartwatch-based fall detection system using deep learning » paru dans Sensors, 2018, 18, 3363, NDPI, doi :10.3390/s18103363 propose un système reposant sur un apprentissage profond via des Recurrent Neural Networks (RNN) très coûteux en terme de ressources système, d'énergie et de temps de calcul.

[0008] Il se pose le problème de trouver un nouveau procédé et un nouveau dispositif de détection de chute, plus rapide, plus pertinent et de préférence moins consommateur d'énergie que les dispositifs connus.

Exposé de l'invention

[0009] L'invention concerne d'abord un dispositif de détection de chute comportant au moins un accéléromètre et des moyens, ou des moyens numériques, programmés pour :

[0010] - recevoir des données dudit accéléromètre concernant au moins un signal d'accélération ou recevoir des données d'au moins un signal d'accélération provenant dudit accéléromètre ;

[0011] - identifier, par exemple par un filtre, parmi les données dudit accéléromètre qui dépassent un certain seuil, des données d'au moins un signal susceptible de constituer un évènement de chute ;

[0012] - identifier, parmi lesdites données susceptibles de constituer un évènement de chute et dans une fenêtre temporelle autour de, ou comprenant, cet évènement, au moins la plus grande durée, ou 1^{ère} durée, pendant laquelle le signal est, de manière ininterrompue, sous la valeur moyenne du signal détecté ;

[0013] - classier, de préférence en fonction de ladite plus grande durée, lesdites données ou l'évènement, en chute ou en non chute, à l'aide d'un classifieur basé par exemple sur au moins un arbre de décision et/ou sur une descente de gradient (XGB, ou « Gradient Boosting tree »), et/ou un arbre supplémentaire (ou « Extremely Randomized Tree », ou ETC, ou encore « Extra Trees »).

[0014] L'invention met en œuvre un prédicteur de chute (la plus grande durée pendant laquelle le signal est, de manière ininterrompue, sous la valeur moyenne, encore appelé « longest_strike_below_mean ») qui, en combinaison avec une classification, basée par exemple sur au moins un arbre de décision et/ou sur une descente de gradient (XGB, ou un « Gradient Boosting tree »), et/ou sur un arbre supplémentaire (ou « Extremely Randomized Tree », ou ETC, ou « Extra Trees »), s'avère être très pertinent pour la détection des chutes, notamment car il est très différentiant entre, d'une part, les chutes et, d'autre part, les activités de la vie quotidienne, tout en étant d'un calcul très rapide

et faiblement énergivore.

- [0015] Ce prédicteur correspond à la durée du plus long « *strike* » (segment continu) situé en dessous de la moyenne d'un signal, lorsque celui-ci est susceptible d'être un signal traduisant une chute. Selon une réalisation, Il est calculé sur une 1^{ère} fenêtre temporelle de, par exemple, 1 seconde avant l'évènement principal et sur une 2^{ème} fenêtre temporelle de, par exemple, 2 secondes, après l'évènement principal. Le signal utilisé peut être celui de la norme de l'accéléromètre, lequel peut avoir été filtré par un filtre passe haut, par exemple encore de fréquence de coupure $f_c=0.2\text{Hz}$.
- [0016] Ce prédicteur s'apparente à la durée de la chute. Il a été identifié, parmi environ 1000 prédicteurs temporels et fréquentiels, comme étant plus pertinent, pour la détection de chute, que d'autres prédicteurs couramment utilisés (vitesse au point d'impact notamment).
- [0017] Il est encore plus efficace lorsque le capteur est porté au poignet, ce qui est la solution privilégiée par les seniors.
- [0018] Les moyens, ou les moyens numériques, peuvent être programmés pour calculer, à partir des données reçues de l'accéléromètre, la composante dynamique de la norme de l'accélération, qui est ensuite utilisée pour identifier des données d'au moins un signal susceptible de constituer un évènement de chute.
- [0019] Le classifieur utilisé peut-être :
- [0020] - au moins de type Forêt aléatoire, avec par exemple entre 2 et 20 arbres, chacun avec une profondeur qui peut être comprise entre 2 et 10 ;
- [0021] - ou mettre en œuvre au moins une Forêt aléatoire limitée (RFT), par exemple limitée à 5 arbres.
- [0022] Appliqué aux résultats du prédicteur de chute mentionné ci-dessus, (« *longest_strike_below_mean* »), ce classifieur donne de très bons résultats en termes de précision et de spécificité de détection de chutes.
- [0023] Un dispositif selon l'invention peut comporter en outre des moyens, ou des moyens numériques, pour calculer, pour les données du signal d'accéléromètre, ou données d'accéléromètre, une ou plusieurs des autres valeurs parmi la valeur maximale de ces données d'accéléromètre, la valeur minimale de ces données d'accéléromètre, la valeur médiane de ces données d'accéléromètre, la déviation standard de ces données d'accéléromètre, la variance de ces données d'accéléromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données d'accéléromètre, la somme des valeurs de ces données d'accéléromètre, et pour entrer au moins une desdites autres valeurs calculées dans ledit classifieur.
- [0024] Un dispositif selon l'invention peut comporter en outre au moins un autre capteur choisi parmi un gyromètre et/ou un baromètre. Les moyens, ou les moyens numériques, peuvent être programmés pour calculer, à partir des données reçues respec-

tivement d'un gyromètre et/ou d'un capteur de pression, la norme de la vitesse angulaire et/ou la variation à court terme de la pression atmosphérique locale, qui est/sont ensuite utilisée(s) pour identifier des données d'au moins un signal susceptible de constituer un évènement de chute.

[0025] Un dispositif selon l'invention peut comporter en outre des moyens, ou des moyens numériques, programmés pour calculer :

[0026] - pour les données du signal de gyromètre, ou données de gyromètre, une ou plusieurs des valeurs parmi la plus grande période pendant laquelle signal est, en continu, sous la valeur moyenne du signal détecté, la valeur maximale de ces données de gyromètre, la valeur médiane de ces données de gyromètre, la valeur minimale de ces données de gyromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données de gyromètre, la déviation standard de ces données de gyromètre, la variance de ces données de gyromètre, et pour entrer au moins une de ces valeurs calculées pour les données du signal de gyromètre dans ledit classifieur;

[0027] - et/ou pour les données du signal du baromètre, ou données de baromètre, une ou plusieurs des valeurs parmi la plus grande période pendant laquelle signal est, en continu, sous la valeur moyenne du signal détecté, la valeur maximale de ces données de baromètre, la valeur moyenne de ces données de baromètre, la valeur médiane de ces données de baromètre, la valeur minimale de ces données de baromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données de baromètre, la déviation standard de ces données de baromètre, la somme des valeurs de ces données de baromètre, la variance de ces données de baromètre et pour entrer au moins une de ces valeurs calculées pour les données du signal de baromètre dans ledit classifieur.

[0028] Dans un dispositif selon l'invention la fenêtre temporelle autour de, ou comprenant, l'évènement peut être au maximum de 1,5 secondes avant l'évènement et/ou au maximum de 2,5 secondes après l'évènement.

[0029] Les moyens, ou les moyens numériques, pour identifier si un évènement est susceptible de constituer une chute peuvent être programmés pour identifier si un évènement est suivi, pendant une certaine durée, ou 2^{ème} durée, par exemple comprise entre 2 et 4 secondes, d'un autre évènement, ou n'est pas suivi par un autre évènement : les évènements répétitifs peuvent ainsi être éliminés des évènements susceptibles de constituer une chute.

[0030] Les moyens, ou les moyens numériques, pour identifier si un évènement est susceptible de constituer une chute peuvent mettre en œuvre une machine d'état.

[0031] Un dispositif selon l'invention peut en outre comporter en outre des moyens, ou des moyens numériques, pour, ou programmés pour, envoyer une alerte sur la base des résultats générés par les moyens, sur la base du résultat de classification.

[0032] L'invention concerne également un procédé de détection de chute à l'aide d'au moins

un accéléromètre, ce procédé comportant au moins les étapes suivantes :

- [0033] a) - collecter au moins des données d'accélération provenant dudit accéléromètre ;
- [0034] b) - identifier, parmi les données dudit accéléromètre, des données susceptibles de constituer une chute ;
- [0035] c) - identifier, à l'aide desdites données susceptibles de constituer un événement de chute et dans une fenêtre temporelle autour de, ou comprenant, cet événement, au moins la plus grande durée, ou 1^{ère} durée, pendant laquelle le signal est, de manière ininterrompue, sous la valeur moyenne du signal détecté ;
- [0036] d) – classifieur, de préférence en fonction de ladite plus grande durée, lesdites données ou l'évènement, en chute ou en non chute, à l'aide d'un classifieur basé par exemple sur au moins un arbre de décision et/ou sur une descente de gradient (XGB, ou « Gradient Boosting tree »), et/ou sur un arbre supplémentaire (ou « Extremely Randomized Tree », ou ETC, ou encore “Extra Trees”). Ce procédé peut mettre en œuvre un dispositif selon l'invention, tel que présenté ci-dessus et/ou dans la suite de la présente demande.
- [0037] Le classifieur est par exemple de type Forêt aléatoire, avec par exemple entre 2 et 20 arbres, chacun avec une profondeur qui peut être comprise entre 2 et 10.
- [0038] Ledit classifieur peut mettre en œuvre au moins une Forêt aléatoire limitée (RFT), par exemple limitée à 5 arbres (rf_light, ou “Random Forest limited”). Avant l'étape b), il est possible de calculer, à partir des données reçues de l'accéléromètre, la composante dynamique de la norme de l'accélération, qui est ensuite utilisée pendant les étapes b) et suivantes.
- [0039] Un tel procédé peut comporter en outre une étape de calcul, pour les données du signal d'accéléromètre, ou données d'accéléromètre, d'une ou plusieurs des autres valeurs parmi la valeur maximale, la valeur minimale de ces données d'accéléromètre, la valeur médiane de ces données d'accéléromètre, la déviation standard de ces données d'accéléromètre, la variance de ces données d'accéléromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données d'accéléromètre, la somme des valeurs de ces données d'accéléromètre, et l'entrée d'au moins une de ces autres valeurs, ou valeurs calculées, dans ledit classifieur.
- [0040] Un tel procédé peut comporter en outre une mesure de données dudit mouvement à l'aide d'au moins un autre capteur choisi parmi un gyromètre et/ou un baromètre et/ou la collecte au moins de données d'au moins un autre capteur choisi parmi un gyromètre et/ou un baromètre.
- [0041] Avant l'étape b), il est possible de calculer, à partir des données reçues respectivement d'un gyromètre et/ou d'un capteur de pression, la norme de la vitesse angulaire et/ou la variation à court terme de la pression atmosphérique locale, qui est/sont ensuite utilisée(s) pendant les étapes b) et suivantes.

- [0042] Un tel procédé peut comporter en outre une étape de calcul :
- [0043] - pour les données du signal de gyromètre, ou données de gyromètre, d'une ou plusieurs des valeurs parmi la plus grande période pendant laquelle signal est, en continu, sous la valeur moyenne du signal détecté, la valeur maximale de ces données de gyromètre, la valeur médiane de ces données de gyromètre, la valeur minimale de ces données de gyromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données de gyromètre, la déviation standard de ces données de gyromètre, la variance de ces données de gyromètre, et l'entrée d'au moins une de ces valeurs calculées pour les données du signal de gyromètre dans ledit classifieur ;
- [0044] - et/ou pour les données du signal du baromètre, d'une ou plusieurs des valeurs parmi la plus grande période pendant laquelle signal est, en continu, sous la valeur moyenne du signal détecté, la valeur maximale de ces données de baromètre, la valeur moyenne de ces données de baromètre, la valeur médiane de ces données de baromètre, la valeur minimale de ces données de baromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données de baromètre, la déviation standard de ces données de baromètre, la somme des valeurs de ces données de baromètre, la variance de ces données de baromètre, et l'entrée d'au moins une de ces valeurs calculées pour les données du signal de baromètre dans ledit classifieur.
- [0045] Dans un procédé selon l'invention, ladite fenêtre temporelle autour de l'événement est par exemple au maximum de 1,5 secondes avant l'événement et/ou au maximum de 2,5 secondes après l'événement.
- [0046] L'étape b) peut être mise en œuvre en identifiant si un événement est suivi, pendant une certaine durée, ou 2^{ème} durée, par exemple comprise entre 2 et 4 secondes, d'un autre événement, ou n'est pas suivi par un autre événement : les événements répétitifs peuvent ainsi être éliminés des événements susceptibles de constituer une chute.
- [0047] Selon une réalisation l'étape b) met en œuvre une machine d'état.
- [0048] Enfin, un procédé selon l'invention peut comporter une étape d'envoi d'une alerte sur la base des résultats de l'étape d) de classification : si un événement est classé comme une chute, il est possible d'envoyer une alerte à une autre personne, par exemple à un aide-soignant.
- [0049] Un procédé selon l'invention peut être mis en œuvre à l'aide de moyens numériques, par exemple un microcontrôleur ou un processeur ou un microprocesseur, programmé à cet effet.
- [0050] Plus généralement, un dispositif ou un procédé selon l'invention peut être mis en œuvre dans un bracelet ou dans un pendentif.

Brève description des dessins

- [0051] [Fig.1] illustre de manière schématique un mode de réalisation d'un dispositif selon

la présente invention.

[0052] [Fig.2] représente un exemple une réalisation, par une machine d'états, d'une pré-détection d'évènements.

[0053] [Fig.3] représente un exemple de fenêtrage temporel.

[0054] [Fig.4] représente l'intervalle temporel correspondant au prédicteur de plus grande durée en dessous de la moyenne ;

[0055] [Fig.5A] et [Fig.5B] représentent le classement des divers prédicteurs étudiés, effectué par un classifieur de type Forêt Aléatoire, pour un bracelet ([Fig.5A]) et un pendentif ([Fig.5B]).

[0056] [Fig.6A] et [Fig.6B] représentent des performances obtenues, avec un classifieur de type Forêt Aléatoire, pour un bracelet ([Fig.6A]) et un pendentif ([Fig.6B]) ;

[0057] [Fig.7] illustre la contribution des différents capteurs à la performance globale ;

[0058] [Fig.8] compare des performances respectives de différents classifieurs ;

[0059] [Fig.9] illustre de manière schématique un mode de réalisation d'un procédé selon la présente invention.

[0060] [Fig.10A] et [Fig.10B] représentent l'influence des hyper-paramètres d'une forêt aléatoire sur la performance (mesurée en rappel moyen).

[0061] **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

[0062] Un système 10 de détection de chute portatif selon l'invention est représenté schématiquement en [Fig.1] et comporte au moins un capteur permettant de détecter des mouvements d'une personne, par exemple au moins un accéléromètre 2 (de préférence à 3 axes), et éventuellement au moins un gyromètre 4 (de préférence à 3 axes) et/ou au moins un capteur de pression, ou baromètre, 6. La [Fig.1] représente un système comportant un accéléromètre 2, un gyromètre 4 et un baromètre 6, mais d'autres configurations peuvent être réalisées, comme expliqué plus loin.

[0063] Un tel système comporte de préférence des moyens 8 numériques, par exemple un microcontrôleur ou un processeur ou un microprocesseur, permettant de recevoir les données émises ou mesurées par le ou les capteur(s) du dispositif et programmés pour mettre en œuvre une analyse et/ou un traitement des données tels que décrit ci-dessous, de préférence en temps réel. Eventuellement, ces moyens 8 peuvent déclencher l'émission d'un signal d'alerte 12. Ces moyens 8 peuvent en outre comporter des moyens de mémorisation pour mémoriser des données ou instructions mettant en œuvre une analyse et/ou un traitement des données tels que décrit ci-dessous et éventuellement des moyens de mémorisation pour mémoriser tout ou partie des données mesurées par au moins un desdits capteur(s) et/ou des données qui résultent d'un ou plusieurs des traitements décrits ci-dessous.

[0064] Un tel système peut être incorporé dans un objet de la vie quotidienne portée par une personne physique, par exemple un bracelet ou un pendentif.

[0065] Dans le cas de l'exemple des capteurs de la [Fig.1] et mentionnés ci-dessus, un accéléromètre 2, un gyromètre 4 et un baromètre 6, les signaux qu'ils produisent lors des mouvements, et notamment lors d'une chute, d'une personne à laquelle ils sont liés, sont respectivement une accélération (de composantes (accN_x), (accN_y), (accN_z)), une vitesse angulaire et une mesure de la pression atmosphérique locale. Ces signaux sont numérisés par les moyens 8 et peuvent être préalablement conditionnés, c'est-à-dire soumis à une ou plusieurs étapes de prétraitement des signaux visant à extraire une ou plusieurs grandeur(s) physique(s) d'intérêt.

[0066] Concernant l'accéléromètre 2, les moyens 8 peuvent par exemple être programmés pour calculer la composante dynamique de la norme de l'accélération, la norme étant donnée par la formule :

$$|accN| = \sqrt{(accN_x)^2 + (accN_y)^2 + (accN_z)^2}$$

[0067] La norme de l'accéléromètre (par exemple échantillonné à $F_e = 100$ Hz) permet d'obtenir une grandeur indépendante de l'attitude de la personne (et donc de l'orientation du capteur). La composante dynamique de l'accélération (en opposition à une composante due à la gravitation), notée accN_dyn_mg, est par exemple obtenue en passant les données de l'accélération dans un filtre digital passe-haut, par exemple de type Butterworth d'ordre 2 et avec une fréquence de coupure qui est par exemple de l'ordre de $f_c = 0.2$ Hz. On élimine ainsi la composante due à la gravitation.

[0068] S'agissant du gyromètre 3 axes, lequel peut être échantillonné à, par exemple, 100 Hz, les moyens 8 peuvent être programmés pour calculer la norme gyrN_mg de la vitesse angulaire, par une formule identique ou similaire à celle donnée ci-dessus.

[0069] S'agissant du baromètre, les moyens 8 sont de préférence programmés pour retenir la variation à court terme de la pression atmosphérique locale (et éliminer les variations lentes dues à la météorologie). Les signaux du baromètre arrivent par exemple à 50Hz ; ils peuvent être ré-échantillonnés à, par exemple, 100Hz pour simplifier le fenêtrage temporel (afin d'avoir une fréquence commune aux trois capteurs). Les variations dues à la pression atmosphérique peuvent être compensées par l'application d'un filtre passe-haut, par exemple de fréquence de coupure 0,2 Hz. La pression corrigée est notée pressuredyn_mbar.

[0070] De préférence, un même filtre est utilisé pour l'accéléromètre et le baromètre, ce qui est une solution économe en ressources des moyens de traitement (par exemple en ressources RAM et CPU).

[0071] A l'aide des moyens 8, il est possible de réaliser un 1^{er} traitement, ou prétraitement, dit de « détection événementielle » d'au moins une partie des données produites par le ou les capteur(s). En effet certains événements, qui n'ont rien à voir avec une chute,

par exemple un mouvement de la main, peuvent néanmoins amener au moins un capteur à produire un signal d'intensité supérieure à une certaine valeur seuil, signal qu'il faut donc *a priori* prendre en compte. Afin de réduire la consommation énergétique, on réalise de préférence un prétraitement permettant d'éliminer les signaux de ce type qui ne peuvent pas résulter d'une chute. C'est notamment le cas pour les signaux de l'accéléromètre générés par des événements répétitifs ; un événement, identifié par un signal qui dépasse un certain seuil (fixé par l'opérateur dans les moyens 8), est répétitif si il se répète à l'intérieur d'une certaine fenêtre temporelle, par exemple d'une durée de l'ordre de 2 à 4 s, par exemple encore 3,5 s. Par contre, un événement non suivi d'un autre événement pendant cette durée est bien susceptible de constituer une chute.

[0072] Par exemple, à l'aide des moyens 8 :

[0073] - on identifie les cas de dépassement d'un seuil sur la composante dynamique de l'accélération ;

[0074] - en cas de dépassement de ce seuil, on déclenche une analyse plus poussée, telle que décrite dans la présente demande et en particulier ci-dessous ;

[0075] - en cas de mouvements répétitifs, on attend la fin de l'activité répétitive avant de déclencher l'analyse plus poussée.

[0076] Autrement dit, une analyse est déclenchée en cas de mouvements répétitifs, mais de préférence une seule fois, c'est-à-dire à la fin de la succession de mouvements : s'il n'y avait pas de prétraitement, par exemple par une machine d'état comme expliqué ci-dessous, une analyse serait déclenchée à chacun des mouvements, augmentant ainsi la consommation énergétique du microcontrôleur.

[0077] Ce pré-traitement met par exemple en œuvre une machine d'état utilisant en entrée les signaux de la composante dynamique de l'accélération accNdyn_mg (obtenue comme expliqué ci-dessus). Il peut être programmé dans les moyens 8 et est illustré en [Fig.2].

[0078] Le premier état (2-1) « ATTENTE° » correspond à l'attente d'un événement.

[0079] La composante dynamique de l'accélération accNdyn_mg est calculée et comparée à un seuil H_THR (lequel est défini préalablement par un opérateur dans les moyens 8 ; par exemple il a été défini par recherche systématique selon une grille régulière, le critère étant le rappel moyen (« recall_mean »). En cas de dépassement de ce seuil par la composante dynamique, la machine passe à l'état (2-2) IMPACT_DETECTE et initialise alors un compteur (« impact_detected_timer »).

[0080] Dans l'état 2-2 (« IMPACT_DETECTE »), si un nouveau dépassement du seuil par accNdyn est détecté, on remet à zéro le compteur. Sinon, on incrémente celui-ci de +1 à chaque nouvel échantillon (par exemple à 104 Hz). Lorsque le compteur dépasse une durée prédéterminée (« IMPACT_DETECTED_TIMEOUT », qui peut par exemple, là

encore, avoir été définie par recherche systématique selon une grille régulière, le critère étant le rappel moyen (« recall_mean »)), la machine passe dans l'état 2-3 « EVENEMENT DE TYPE CHUTE » (« FALL_LIKE_EVENT ») et déclenche la suite du processus d'analyse (fenêtrage, extraction de prédicteurs et classification, voir ci-dessous). Elle retourne ensuite dans l'état 2-1 « ATTENTE ».

[0081] Le passage à l'état « EVENEMENT DE TYPE CHUTE » a lieu après un nombre d'échantillons défini par la durée IMPACT_DETECTED_TIMEOUT, après le dernier dépassement de seuil. Pour connaître l'indice de l'échantillon correspondant à l'évènement principal (dernier dépassement du seuil), on applique la formule suivante :

[0082] Indice de l'échantillon (Event_index) = Indice courant (current_index) - IMPACT_DETECTED_TIMEOUT

[0083] Le tableau 1 ci-dessous précise des exemples de valeurs du seuil H_THR et IMPACT_DETECTED_TIMEOUT, pour un bracelet et pour un pendentif.

[Tableaux1]

	Valeur Bracelet	Valeur Pendentif	unité
H_THR	1041	2000	mG
IMPACT_DETECTED_TIMEOUT	350 (~3,37)		Echantillons (secondes)

[0084] Le fenêtrage temporel consiste à sélectionner une plage d'échantillons de part et d'autre du dernier dépassement de seuil enregistré par la machine d'état.

[0085] Ce dernier dépassement de seuil se situe donc à l'instant défini par la durée « IMPACT_DETECTED_TIMEOUT » échantillons avant le passage à l'état « FALL_LIKE_EVENT » (ce qui est la traduction littérale de l'équation ci-dessus).

[0086] Une autre étape, dite de fenêtrage temporel, peut donc ensuite être mise en œuvre par les moyens 8 pour sélectionner avant et/ou après l'évènement (qui peut avoir été identifié de la manière expliquée ci-dessus), les données d'intérêt à analyser plus précisément afin de confirmer, ou pas, que cet évènement est une chute. A cette fin, comme illustré en [Fig.3] (qui représente la composante dynamique de l'accélération, exprimée en milliG (mg)), on identifie une fenêtre temporelle F d'une durée totale prédéterminée (par un opérateur dans les moyens 8), par exemple quelques secondes, par exemple comprise entre 3 et 4s, autour du dernier passage à l'état IMPACT-DETECTED : une première partie de la fenêtre est située avant le dernier passage à l'état IMPACT-DETECTED, une deuxième partie de la fenêtre est située après celui-ci; selon un exemple de réalisation avec une fenêtre d'une durée totale de 3s, celle-ci est répartie en 1s (correspondant par exemple à 100 échantillons) avant le dernier

passage à l'état IMPACT-DETECTED et en 2s (correspondant par exemple à 200 échantillons) après le dernier passage à l'état IMPACT-DETECTED. En effet, dans le cas d'une vraie chute, seules les données dans une telle fenêtre temporelle limitée autour du dernier passage à l'état IMPACT-DETECTED peuvent contenir de l'information pertinente. Ce sont par conséquent ces données qui vont permettre de décider si les signaux détectés traduisent vraiment une chute.

[0087] Cette étape de fenêtrage peut être appliquée aux signaux d'au moins un des capteurs mentionnés ci-dessus, de préférence aux signaux de l'accéléromètre ; plus particulièrement, il peut être appliqué à une ou plusieurs des 3 grandeurs préalablement calculées lors de la phase de conditionnement :

- à la composante dynamique de la norme de l'accéléromètre `accNdyn_mg`,
- à la norme du gyromètre `gyroN_mdps`,
- à la composante dynamique de la pression `pressuredyn_mbar`.

[0088] Comme expliqué plus loin, un dispositif 1 selon l'invention peut aussi ne mettre en œuvre qu'un accéléromètre 2, ou un accéléromètre 2 et un gyromètre 4, ou un accéléromètre 2 et un baromètre 6, auquel cas les explications ci-dessus sont transposées aux signaux du/des capteur(s) mis en œuvre.

[0089] Les données identifiées dans la fenêtre temporelle décrite ci-dessus peuvent ensuite être soumises à une analyse statistique comme expliqué ci-dessous.

[0090] À cette fin, les inventeurs ont identifié un indicateur statistique, ou prédicteur de chute. Une recherche systématique des prédictors pertinents de la chute a été réalisée à l'aide de l'outil « tsfresh » décrit dans l'article de M. Christ et al. « Time Series FeatuRe Extraction on basis of Scalable Hypothesis tests », paru dans *Neuro-computing*, vol. 307, p. 72-77, sept. 2018, doi: 10.1016/j.neucom.2018.03.067.

[0091] Cet outil permet d'extraire environ 1000 prédictors les plus couramment utilisés dans l'analyse de séries temporelles, et de sélectionner ceux qui sont pertinents pour séparer les deux classes d'événements (chutes et non chutes). Cette sélection repose sur un calcul de p-value, ou probabilité, qui peut être vue comme le plus petit seuil de significativité pour lequel l'hypothèse nulle est acceptée, comme expliqué dans l'article de J. D. Gibbons et al., « P-Values: Interpretation and Methodology », *Am. Stat.*, vol. 29, no 1, p. 20-25, 1975, doi: 10.2307/2683674, avec contrôle du taux de fausse découverte par la méthode de Benjamini Yekutieli (Yoav Benjamini, Daniel Yekutieli. "The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency." *Ann. Statist.* 29 (4) 1165 - 1188, August 2001. <https://doi.org/10.1214/aos/1013699998>). Cette méthode consiste à contrôler le taux de fausse découverte en ajustant le seuil de p-value en fonction du nombre de prédictors testés.

[0092] Parmi les prédictors testés, on peut sélectionner 8 prédictors par capteur (soit au

maximum 24 au total) selon un compromis, pour l'application à la détection de chute, entre performance et simplicité d'implémentation.

[0093] Ces prédicteurs sont listés dans le tableau 2 ci-dessous :

[Tableaux2]

Prédicteur	Valeur	
accNdyn_mg__longest_strike_below_mean (plus grande durée en dessous de la moyenne)	1.61E+02	
accNdyn_mg__maximum	1.68E+04	
accNdyn_mg__mean (moyenne)	-3.90E+01	
accNdyn_mg__médiane	-3.66E+02	
accNdyn_mg__minimum	-1.45E+03	
accNdyn_mg__root_mean_square (valeur quadratique moyenne)	1.96E+03	
accNdyn_mg__standard_deviation (écart type)	1.96E+03	
accNdyn_mg__sum_values (somme des valeurs)	-1.17E+04	
accNdyn_mg__variance	3.84E+06	
gyrN_mdps__longest_strike_below_mean (plus grande durée en dessous de la moyenne)	1.37E+02	
gyrN_mdps__maximum	1.73E+06	
gyrN_mdps__médiane	5.94E+04	
gyrN_mdps__minimum	2.41E+03	
gyrN_mdps__root_mean_square (valeur quadratique moyenne)	3.22E+05	
gyrN_mdps__standard_deviation (écart type)	2.67E+05	
gyrN_mdps__variance	7.15E+10	
pressuredyn_mbar__longest_strike_below_mean (plus grande durée en dessous de la moyenne)	8.30E+01	
pressuredyn_mbar__maximum	2.22E-01	
pressuredyn_mbar__mean (moyenne)	-2.79E-03	
pressuredyn_mbar__médiane	-2.94E-02	
pressuredyn_mbar__minimum	-1.40E-01	
pressuredyn_mbar__root_mean_square (valeur quadratique moyenne)	7.92E-02	

pressuredyn_mbar__standard_deviation (écart type)	7.91E-02	
pressuredyn_mbar__sum_values (somme des valeurs)	-8.36E-01	
pressuredyn_mbar__variance	6.26E-03	

[0094] Dans ce tableau 2 :

[0095] - l'ordre de classement est simplement l'ordre alphabétique. Les unités apparaissent dans le nom du prédicteur (pour le gyromètre, l'unité est le millidegré par seconde (mdps)) ;

[0096] - la « typical value » correspond à celle obtenue pour un sujet donné. Il s'agit donc d'un exemple.

[0097] Ces prédicteurs sont donc le « longest strike below mean » (ou « plus grande durée en dessous de la moyenne »), la valeur maximum, la valeur moyenne (mais pas pour les données du gyroscope), la valeur médiane, la valeur minimum, la valeur moyenne quadratique, la somme des valeurs (mais pas pour les données du gyroscope), la variance.

[0098] Le « longest_strike_below_mean » peut par exemple être réalisé (dans les moyens 8) à l'aide de l'algorithme ci-dessous :

[0099] 1. Pour chaque valeur de x, tester la condition : $x < \text{moyenne}(x)$: on obtient alors un vecteur de booléens ;

[0100] 2. Regrouper ce vecteur de booléens par groupes de même valeurs consécutives. Par exemple, la séquence (0,0,0,1,1,0,0) donnera trois groupes : (0,0,0) (1,1) et (0,0)

[0101] 3. Mesurer le nombre d'éléments de chaque groupe (respectivement 3, 2 et 2)

[0102] 4. Renvoyer le nombre d'élément le plus grand de ses groupes. Dans l'exemple donné ci-dessus, ce nombre est 3.

[0103] La [Fig.4] (la composante dynamique de l'accélération, exprimée en milliG (mg)) représente une fenêtre temporelle, autour d'un passage à l'état IMPACT-DETECTED, qui peut éventuellement être celui d'une chute, qui représente la plus grande durée en dessous de la moyenne. En pratique, cette fenêtre temporelle peut être partiellement avant l'évènement (l'évènement = le pic sur la [Fig.4]) et partiellement après l'évènement, par exemple 1 s avant l'évènement et 2 s après l'évènement.

[0104] La pertinence de ces prédicteurs pour séparer les chutes des non-chutes a été évaluée à l'aide de la méthode de Benjamini et Yekutieli (voir l'article de ces auteurs déjà cité ci-dessus). Ici nous nous intéressons essentiellement à l'importance que leur attribue le classifieur utilisé (forêt aléatoire comme expliqué ci-dessus). Le degré de pertinence est représenté en figures 5A et 5B, respectivement pour un bracelet et un pendentif.

[0105] Dans le cas du bracelet ([Fig.5A]) (contenant les 3 capteurs), le prédicteur « longest

strike below mean » calculé sur l'accélération arrive en deuxième position, après la moyenne de la pression atmosphérique. Dans le cas du pendentif ([Fig.5B]) (contenant également les 3 capteurs), il est considéré comme le prédicteur le plus important par le classifieur.

- [0106] Il peut ensuite être procédé à une classification, ou fusion, des données, par un classifieur de type « forêt aléatoire », retenu après une comparaison des performances de différents classifieurs. Un algorithme de classification peut être mis en oeuvre ou programmé dans les moyens numériques 8. Les données d'entrée de ce classifieur sont un ou plusieurs des prédicteurs mentionnés ci-dessus et/ou dans le tableau 2 ci-dessus.
- [0107] Dans cet exemple, cette forêt aléatoire comporte 5 arbres de décision prenant chacun une décision indépendamment des autres. La décision finale est obtenue par vote.
- [0108] Le principe de la Forêt Aléatoire est le suivant :
1. Création de B nouveaux ensembles d'apprentissage par un double processus d'échantillonnage :
- [0109] Sur les observations (une observation est une fenêtre temporelle contenant les données d'un événement (chute ou non-chute), en utilisant un tirage avec remise d'un nombre N d'observations identique à celui des données d'origine,
- a. Et sur les p prédicteurs, en n'en retenant qu'un échantillon de cardinal $m < \sqrt{p}$
 - b. Sur chaque échantillon, on entraîne un arbre de décision selon une des techniques connues, en limitant sa croissance par validation croisée.
 - c. On stocke les B prédictions de la variable d'intérêt pour chaque observation d'origine.
- [0110] La prédiction de la forêt aléatoire peut être alors un simple vote majoritaire (*Ensemble learning*).
- [0111] Les paramètres de ce classifieur peuvent faire l'objet d'une optimisation par grille de recherche à pas constants.
- [0112] Pour la mise en oeuvre de ce procédé, on a pu montrer qu'un nombre d'arbres inférieur à 20 ou à 10 ou même à 5, était suffisant, avec, pour chaque arbre, une profondeur comprise entre 2 et 10, ou même entre 5 et 7.
- [0113] Il est possible de ne mettre en oeuvre qu'un seul arbre de décision, ce qui est moins performant qu'une forêt aléatoire, mais peut avoir un intérêt dans le cas d'une mise en oeuvre de l'algorithme sur un microcontrôleur limité en ressources (ressources de type CPU et/ou RAM), même si cela peut être au détriment de la performance. On peut estimer l'influence des 2 paramètres principaux de la forêt aléatoire :
- [0114] - le nombre d'arbres ($n_estimators$) ;
 - [0115] - la profondeur (ou nombre maximum de nœuds) de chaque arbre (« max_depth »).
 - [0116] Pour cela, on fait varier ces paramètres selon une grille régulière de pas 2. Les

résultats obtenus sont illustrés en figures 10A (cas d'un bracelet) et 10B (cas d'un pendentif), sur lesquelles les couleurs claires correspondent aux meilleures performances, la performance étant mesurée en termes de « rappel moyen » (ou « mean_recall »).

[0117] On constate sur ces figures 10A et 10B un profil similaire pour le pendentif et pour le bracelet, c'est-à-dire une augmentation de la performance avec l'augmentation du nombre d'arbres et/ou de leur profondeur.

[0118] Les performances de ce système de détection de chute ont été estimées sur une base de données séparée en apprentissage et validation selon le tableau 3 ci-dessous (ADL signifiant « Activity of Daily Life » (ou « activités de la vie quotidienne ») ; cette base était constituée de données de chute de 30 personnes (« sujets »).

[Tableaux3]

	Sujets n°	Nbre de sujets	Poignet (bracelet)		Pendentif	
			Nbre de chutes	Nbres d'ADLs	Nbre de chutes	Nbre d'ADLs
Entrainement & Validation	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 24, 25, 28, 29, 30, 32, 35	24	961	1525	985	1563
Test	10, 11, 17, 19, 26, 31	6	240	381	240	381
Total		30	1201	1906	1225	1944

[0119] Les performances obtenues sont rassemblées dans les figures 6A et 6B, données respectivement pour un bracelet et un pendentif.

[0120] Ces figures montrent que :

[0121] - Pour le pendentif ([Fig.6A]): 374 cas d'activités de la vie quotidienne et 230 cas de chute ont été correctement classifiés ; seuls 7 cas d'activités de la vie quotidienne et 10 cas de chute ont été mal classifiés ;

[0122] - Pour le bracelet ([Fig.6B]): 360 cas d'activités de la vie quotidienne et 211 cas de chute ont été correctement classifiés ; seuls 21 cas d'activités de la vie quotidienne et 29 cas de chute ont été mal classifiés.

[0123] Les tableaux 4 (pour un bracelet) et 5 (pour un pendentif) ci-dessous rassemblent des données de précision (colonne 1) et de spécificité (colonne 2); la 3ème colonne (score f1) est la moyenne harmonique entre la précision et le rappel. La colonne « support » correspond au nombre d'observations sur lequel repose le calcul des indicateurs La moyenne macro correspond à la moyenne des deux lignes supérieures. La moyenne pondérée correspond à la moyenne des deux lignes pondérées par le support.

[Tableaux4]

	Précision	Spécificité	f1-score	support
Pas de chute	93%	94%	94%	381
Chute	91%	88%	89%	240
Moyenne macro	92%	91%	91%	621
Moyenne pondérée	92%	92%	92%	621

[0124] [Tableaux5]

	Précision	Spécificité	f1-score	support
Pas de chute	97%	98%	98%	381
Chute	97%	96%	96%	240
Moyenne macro	97%	97%	97%	621
Moyenne pondérée	97%	97%	97%	621

[0125] La [Fig.7] illustre la contribution des différents capteurs à la performance globale. Le « mean_recall » (ou rappel moyen), qui est en abscisse et dans le tableau 6 ci-dessous, correspond à la moyenne entre sensibilité et spécificité ; la désignation des capteurs (accéléromètre = acc, gyromètre = gyr, baromètre = pressure) y est suivie de la lettre N lorsque la norme est extraite et de « dyn » lorsque la composante dynamique est utilisée. De plus, pour chacune des combinaisons envisagées de l'accéléromètre, du gyromètre et du baromètre, la barre horizontale supérieure de la [Fig.7] correspond au cas du pendentif, la barre horizontale inférieure correspond au cas du bracelet.

[Tableaux6]

Position	Capteur(s)	Mean_recall
Pendentif	accNdyn & gyrN & pressuredyn	0,97
Pendentif	accNdyn & pressuredyn	0,96
Pendentif	accNdyn & gyrN	0,94
Pendentif	accNdyn	0,93
Bracelet	accNdyn & gyrN & pressuredyn	0,92
Bracelet	accNdyn & gyrN	0,90
Bracelet	accNdyn & pressuredyn	0,87
Bracelet	accNdyn	0,84

[0126] De cette figure et de ces données, on comprend que, dans le cadre de la présente invention :

[0127] - l'accéléromètre peut être utilisé seul ;

[0128] - ou bien l'accéléromètre peut être utilisé en combinaison avec le gyroscope ou avec le baromètre ;

[0129] - ou bien l'accéléromètre peut, comme déjà expliqué ci-dessus, être utilisé avec à la fois le gyroscope et le baromètre.

[0130] Les meilleures performances sont obtenues lorsque les 3 grandeurs (accélération, vitesse angulaire et pression) sont utilisées (« rappel moyen » = 92% pour le bracelet et 97% pour le pendentif). Lorsque l'accéléromètre est utilisé seul, les performances sont plus faibles (« rappel moyen » = 84% pour le bracelet et 93% pour le pendentif), quoiqu'encore satisfaisante.

[0131] D'autres variantes sont possibles, en changeant le classifieur utilisé. Comme illustré en [Fig.8], les performances respectives de différents classifieurs ont été comparées, ces différents classifieurs étant appliqués à des données de chute telles que celles présentées ci-dessus. Là encore, le « rappel moyen » est en abscisse. Les différents classifieurs sont utilisés avec leurs paramètres par défaut. Les abréviations portées en [Fig.8] correspondent à : Etc : ExtraTrees Classifier (Extremely Randomized Trees) Trees, RF : Random Forest, xgb : Gradient Boosting Trees, rf_light : Random Forest limited to 5 trees, dt : Decision Trees, svm : Support Vector Machines knn : k-Nearest Neighbors, gnb : Gaussian Naive Bayes, mlp : MultiLayer Perception (Neural Network). Pour chacun d'entre eux, la barre horizontale supérieure de la [Fig.8] correspond au cas du pendentif, la barre horizontale inférieure correspond au cas du

bracelet. Sur cette figure, on constate que le classifieur de type « réseau de neurones » est le moins performant.

- [0132] On voit d'après cette figure que, pour l'application à la détection des chutes, les 4 meilleurs classifieurs (RF, ETC, XGB, RF_LIGHT), notamment la forêt aléatoire, sont de type ensemblistes, c'est-à-dire qu'ils agrègent les décisions de plusieurs classifieurs. Ceci permet de rendre la décision plus robuste pour l'application visée dans la présente demande et d'optimiser le compromis biais/variance.
- [0133] Il est possible de ne mettre en œuvre qu'un seul arbre de décision, c'est qui est moins performant qu'une forêt aléatoire, mais peut avoir un intérêt dans le cas d'un portage de l'algorithme sur un microcontrôleur limité en ressources.
- [0134] Il est préférable de mettre en œuvre au moins les 4 classifieurs (RF, ETC, XGB, RF_LIGHT) mentionnés ci-dessus.
- [0135] L'invention trouve des applications notamment :
- A la détection de chute des personnes âgées (à domicile ou en établissement spécialisé (EHPAD ou CHU) ;
 - A la détection de chute des travailleurs évoluant sur un terrain difficile (chantier, toitures, échafaudages, neige, verglas) ...
- [0136] La [Fig.9] représente une réalisation d'un procédé selon l'invention, comportant 5 étapes exécutées de façon chronologique :
- Une étape S1 de conditionnement des signaux recueillis du/des capteur(s) ;
 - Une étape S2 de détection événementielle ;
 - Une étape S3 de fenêtrage temporel ;
 - Une étape S4 de calcul d'au moins un prédicteur de chute ;
 - Une étape S5 de classification.
- [0137] Chacune de ces étapes a été décrite ci-dessus. Dans ce mode de réalisation, comportant les étapes S1 et S2, les étapes S3 – S5 ne sont de préférence activées qu'en cas de réponse positive de la détection événementielle afin d'économiser l'énergie du système. Dans certains cas, il est possible de ne pas mettre en œuvre l'une ou l'autre des étapes S1 et S2 :
- [0138] - l'étape S1 (qui permet de calculer la norme du signal) permet de travailler avec des données indépendantes de l'orientation ; dans certaines applications, il est préférable de mettre en œuvre cette étape, notamment pour des personnes seniors, qui ne mettent pas toujours un objet, par exemple pendentif ou un bracelet, qui met en œuvre l'invention dans le même sens ou sur la même main. Le calcul de la norme permet de s'affranchir de ce problème ;
- [0139] - l'étape S2 contribue à une économie en termes d'alimentation électrique (batterie notamment), car sans elle le calcul des prédicteurs et la classification doivent fonctionner en permanence.

- [0140] Eventuellement, le résultat de l'étape S5 peut déclencher l'émission d'un signal d'alerte 12 ([Fig.1]).
- [0141] Le prédicteur « longest_strike_below_mean » peut être mis en œuvre à l'aide du code suivant :
- [0142] 1. Pour chaque valeur de x , tester la condition : $x < \text{moyenne}(x)$. On obtient un vecteur de booléens
- [0143] 2. Regrouper ce vecteur de booléens par groupes de valeur consécutive similaires. Par exemple, la séquence 0,0,0,1,1,0,0 donnera trois groupes : (0,0,0) (1,1) et (0,0)
- [0144] 3. Mesurer le nombre d'éléments de chaque groupe (respectivement 3, 2 et 2)
- [0145] 4. Renvoyer le nombre d'élément le plus grand de ses groupes ; dans l'exemple donné, ce nombre est 3.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif de détection de chute comportant au moins un accéléromètre (2) et des moyens numériques (8) programmés pour :
- recevoir des données d'au moins un signal d'accélération provenant dudit accéléromètre (2);
 - identifier, parmi les données dudit accéléromètre qui dépassent un certain seuil, des données d'au moins un signal susceptible de constituer un évènement de chute ;
 - identifier, parmi lesdites données d'un signal susceptible de constituer un évènement de chute et dans une fenêtre temporelle comprenant cet événement, au moins la plus grande durée, ou 1^{ère} durée, pendant laquelle le signal est, de manière ininterrompue, sous la valeur moyenne du signal détecté ;
 - classifier, en fonction de ladite plus grande durée, l'évènement en chute ou en non chute à l'aide d'un classifieur basé au moins sur un arbre de décision et/ou sur une descente de gradient (XGB, ou « Gradient Boosting tree »), et/ou sur un arbre supplémentaire (ou encore ETC, ou « Extremely Randomized Trees »)
- [Revendication 2] Dispositif selon la revendication 1, ledit classifieur étant au moins de type Forêt aléatoire, avec par exemple entre 2 et 20 arbres, chacun avec une profondeur comprise entre 2 et 10.
- [Revendication 3] Dispositif selon la revendication 1 ou 2, ledit classifieur mettant en œuvre au moins une Forêt aléatoire limitée (RFT), par exemple limitée à 5 arbres
- [Revendication 4] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, comportant en outre des moyens (8) programmés pour calculer, pour les données du signal d'accéléromètre, ou données d'accéléromètre, une ou plusieurs des autres valeurs parmi la valeur maximale de ces données d'accéléromètre, la valeur minimale de ces données d'accéléromètre, la valeur médiane de ces données d'accéléromètre, la déviation standard de ces données d'accéléromètre, la variance de ces données d'accéléromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données d'accéléromètre, la somme des valeurs de ces données d'accéléromètre, et entrer au moins une desdites autres valeurs dans ledit classifieur.
- [Revendication 5] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, comportant en outre au moins un autre capteur (4, 6) choisi parmi un gyromètre et/ou un baromètre.

- [Revendication 6] Dispositif selon la revendication 5, comportant en outre des moyens (8) programmés pour calculer :
- pour les données du signal de gyromètre, ou données de gyromètre, une ou plusieurs des valeurs parmi la plus grande période pendant laquelle signal est, en continu, sous la valeur moyenne du signal détecté, la valeur maximale de ces données de gyromètre,, la valeur médiane de ces données de gyromètre,, la valeur minimale de ces données de gyromètre,, la valeur moyenne quadratique de ces données de gyromètre,, la déviation standard de ces données de gyromètre,, la variance de ces données de gyromètre, et pour entrer au moins une de ces valeurs calculées pour les données de gyromètre dans ledit classifieur;
 - et/ou pour les données du signal du baromètre, ou données de baromètre, une ou plusieurs des valeurs parmi la plus grande période pendant laquelle signal est, en continu, sous la valeur moyenne du signal détecté, la valeur maximale de ces données de baromètre, la valeur moyenne de ces données de baromètre, la valeur médiane de ces données de baromètre, la valeur minimale de ces données, la valeur moyenne quadratique de ces données, la déviation standard de ces données de baromètre, la somme des valeurs de ces données de baromètre, la variance de ces données et pour entrer au moins une de ces valeurs calculées pour les données de baromètre dans ledit classifieur.
- [Revendication 7] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, ladite fenêtre temporelle comprenant l'événement étant au maximum de 1,5 secondes avant l'événement et 2,5 secondes après l'événement.
- [Revendication 8] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, les moyens (8) pour identifier si un événement est susceptible de constituer une chute étant programmés pour identifier si un événement est suivi, pendant une certaine durée, ou 2^{ème} durée, d'un autre événement, ou n'est pas suivi par un autre événement.
- [Revendication 9] Dispositif selon la revendication 8, ladite 2^{ème} durée étant comprise entre 2 et 4 secondes.
- [Revendication 10] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, les moyens (8) pour identifier si un événement est susceptible de constituer une chute mettant en œuvre une machine d'état.
- [Revendication 11] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, comportant en outre des moyens pour envoyer une alerte sur la base des résultats générés par les moyens (8), sur la base du résultat de classification.

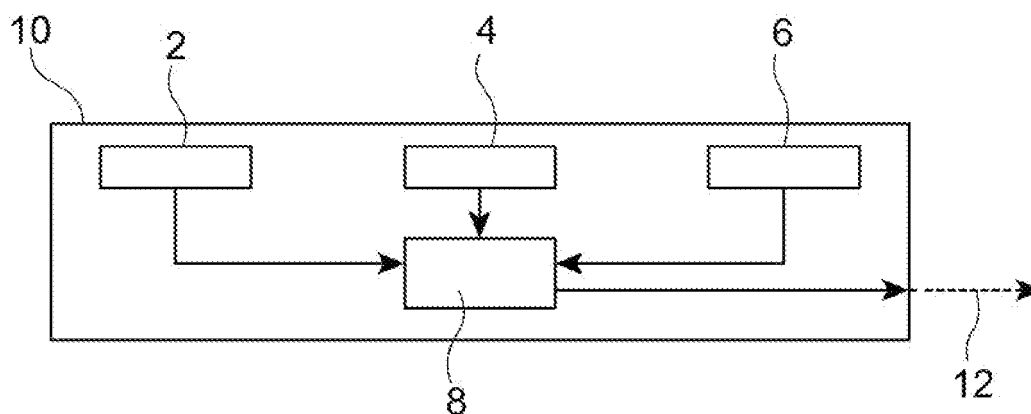
- [Revendication 12] Procédé de détection de chute à l'aide d'au moins un accéléromètre (2), ce procédé comportant au moins les étapes suivantes :
- a) - collecter au moins des données d'accélération provenant dudit accéléromètre (2) ;
 - b) - identifier, parmi les données dudit accéléromètre, des données susceptibles de constituer une chute ;
 - c) - identifier, à l'aide desdites données susceptibles de constituer un événement de chute et dans une fenêtre temporelle comprenant cet événement, au moins la plus grande durée, ou 1^{ère} durée, pendant laquelle le signal est, de manière ininterrompue, sous la valeur moyenne du signal détecté ;
 - d) - classier, en fonction de ladite plus grande durée, l'évènement à l'aide d'un classifieur basé sur au moins un arbre de décision et/ou sur une descente de gradient (XGB, ou « Gradient Boosting tree ») et/ou sur un arbre supplémentaire (ou encore ETC, ou « Extremely Randomized Trees »).
- [Revendication 13] Procédé selon la revendication 12, ledit classifieur étant de type Forêt aléatoire, avec par exemple entre 2 et 20 arbres, chacun avec une profondeur comprise entre 2 et 10.
- [Revendication 14] Procédé selon la revendication 12 ou 13, ledit classifieur mettant en œuvre une Forêt aléatoire limitée (RTF), par exemple limitée à 5 arbres
- [Revendication 15] Procédé selon l'une des revendications 12 à 14, comportant en outre une étape de calcul, pour les données du signal d'accéléromètre, ou données d'accéléromètre, d'une ou plusieurs des autres valeurs parmi la valeur maximale de ces données d'accéléromètre, la valeur minimale de ces données d'accéléromètre, la valeur médiane de ces données d'accéléromètre, la déviation standard de ces données d'accéléromètre, la variance de ces données d'accéléromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données d'accéléromètre, la somme des valeurs de ces données d'accéléromètre, et entrer au moins une desdites autres valeurs dans ledit classifieur.
- [Revendication 16] Procédé selon l'une des revendications 12 à 15, comportant en outre la mesure de données dudit mouvement à l'aide d'au moins un autre capteur choisi parmi un gyromètre et/ou un baromètre.
- [Revendication 17] Procédé selon la revendication 16, comportant en outre une étape de calcul :
- pour les données du signal de gyromètre, ou données de gyromètre, d'une ou plusieurs des valeurs parmi la plus grande période pendant

laquelle signal est, en continu, sous la valeur moyenne du signal détecté, la valeur maximale de ces données de gyromètre, la valeur médiane de ces données de gyromètre, la valeur minimale de ces données de gyromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données de gyromètre, la déviation standard de ces données de gyromètre, la variance de ces données de gyromètre, et l'entrée d'au moins une de ces valeurs calculées pour les données de gyromètre dans ledit classifieur;

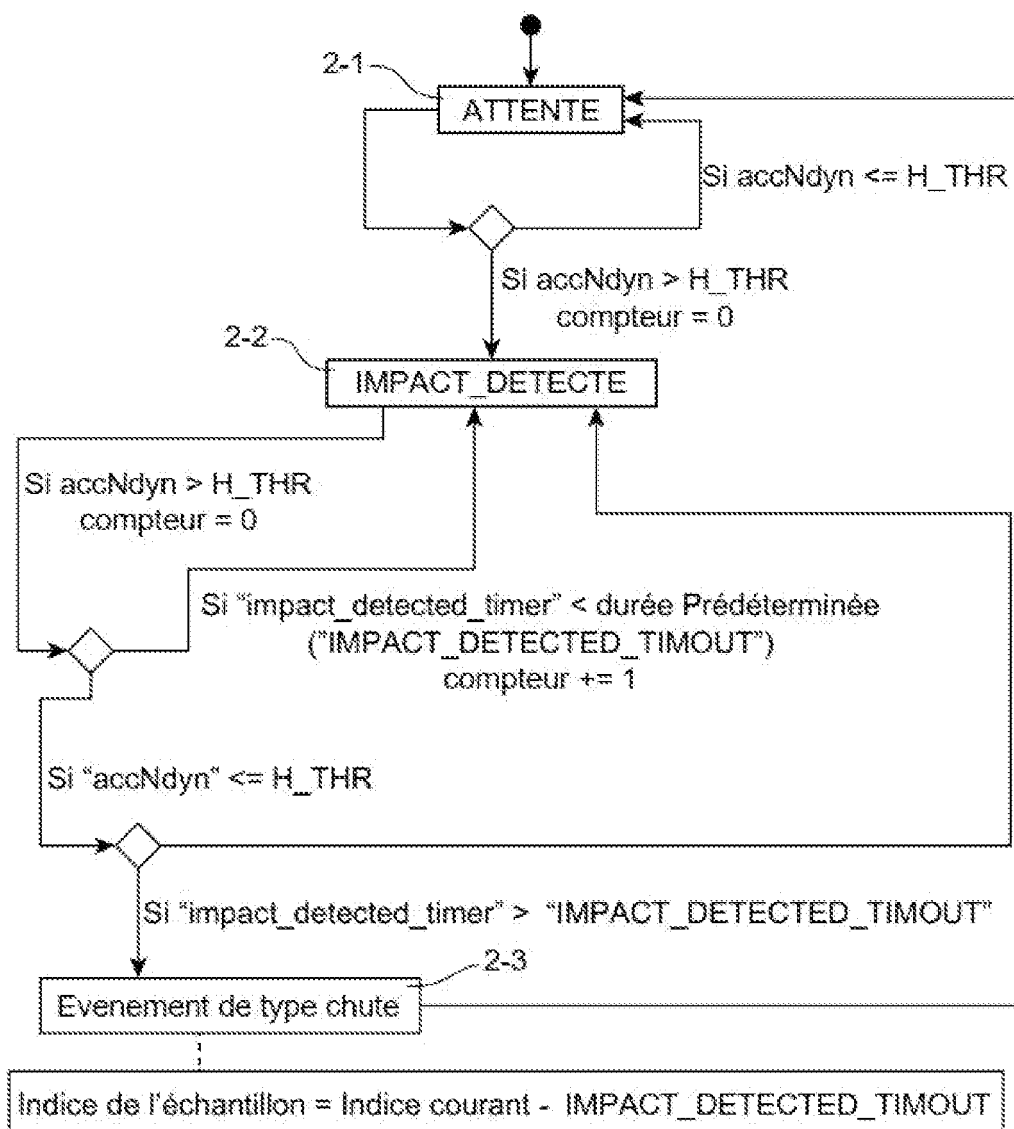
- et/ou pour les données du signal du baromètre, ou données de baromètre, d'une ou plusieurs des valeurs parmi la plus grande période pendant laquelle signal est, en continu, sous la valeur moyenne du signal détecté, la valeur maximale de ces données de baromètre, la valeur moyenne de ces données de baromètre, la valeur médiane de ces données de baromètre, la valeur minimale de ces données de baromètre, la valeur moyenne quadratique de ces données de baromètre, la déviation standard de ces données de baromètre, la somme des valeurs de ces données de baromètre, la variance de ces données de baromètre, et l'entrée d'au moins une de ces valeurs calculées pour les données de baromètre dans ledit classifieur.

- [Revendication 18] Procédé selon l'une des revendications 12 à 17, dans lequel ladite fenêtre temporelle autour de l'événement est au maximum de 1,5 secondes avant l'événement et 2,5 secondes après l'événement.
- [Revendication 19] Procédé selon l'une des revendications 12 à 18, l'étape b) étant mise en œuvre en identifiant si un événement est suivi, pendant une certaine durée, ou 2^{ème} durée, d'un autre événement, ou n'est pas suivi par un autre événement.
- [Revendication 20] Procédé selon la revendication 19, ladite 2^{ème} durée étant comprise entre 2 et 4 secondes.
- [Revendication 21] Procédé selon l'une des revendications 12 à 20, l'étape b) mettant en œuvre une machine d'état.
- [Revendication 22] Procédé selon l'une des revendications 12 à 21, comportant en outre une étape d'envoi d'une alerte sur la base des résultats de l'étape d) de classification.

[Fig. 1]

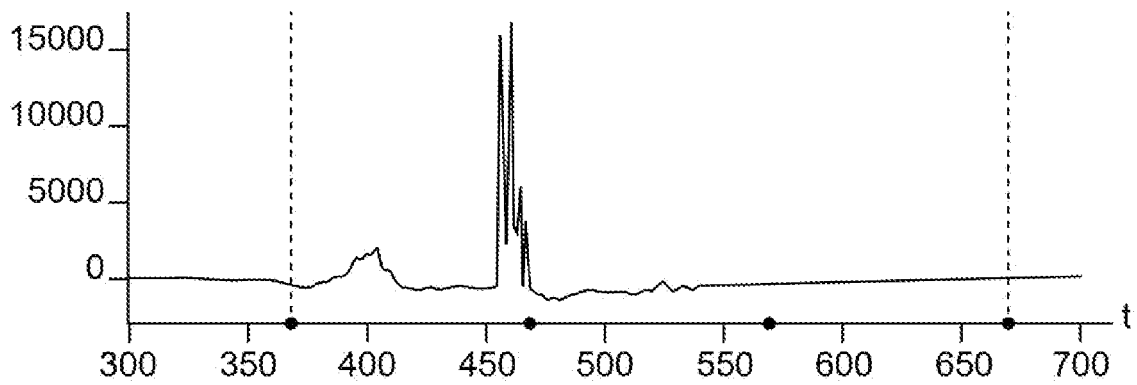


[Fig. 2]



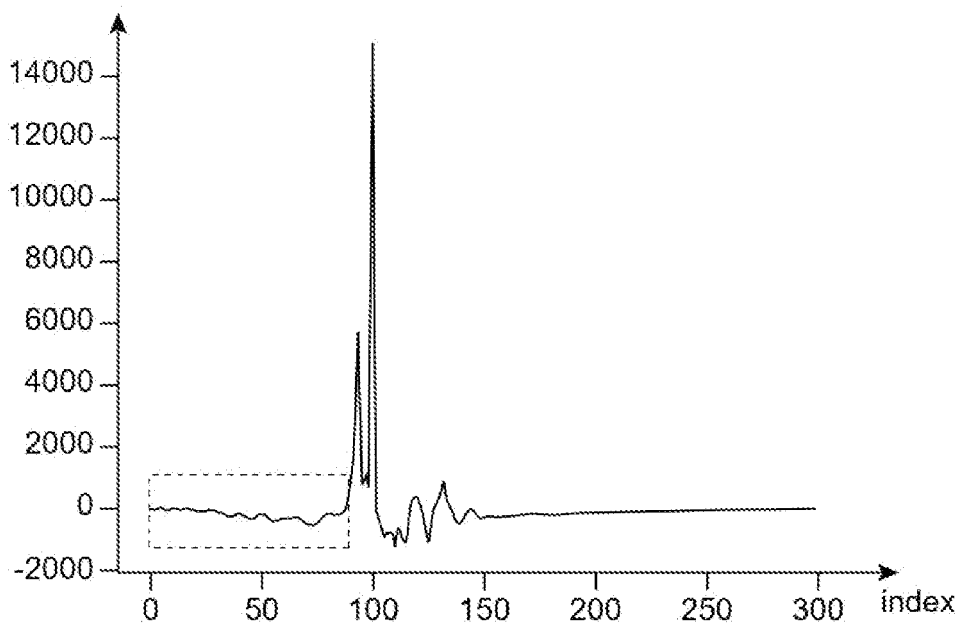
[Fig. 3]

composante dynamique
de l'accélération

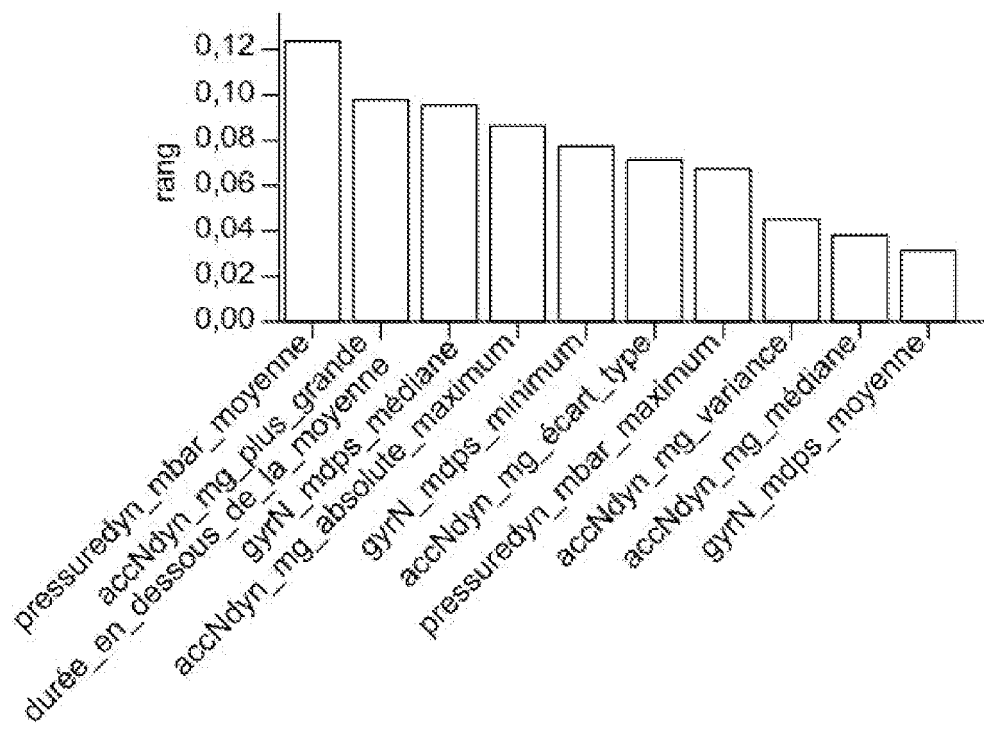


[Fig. 4]

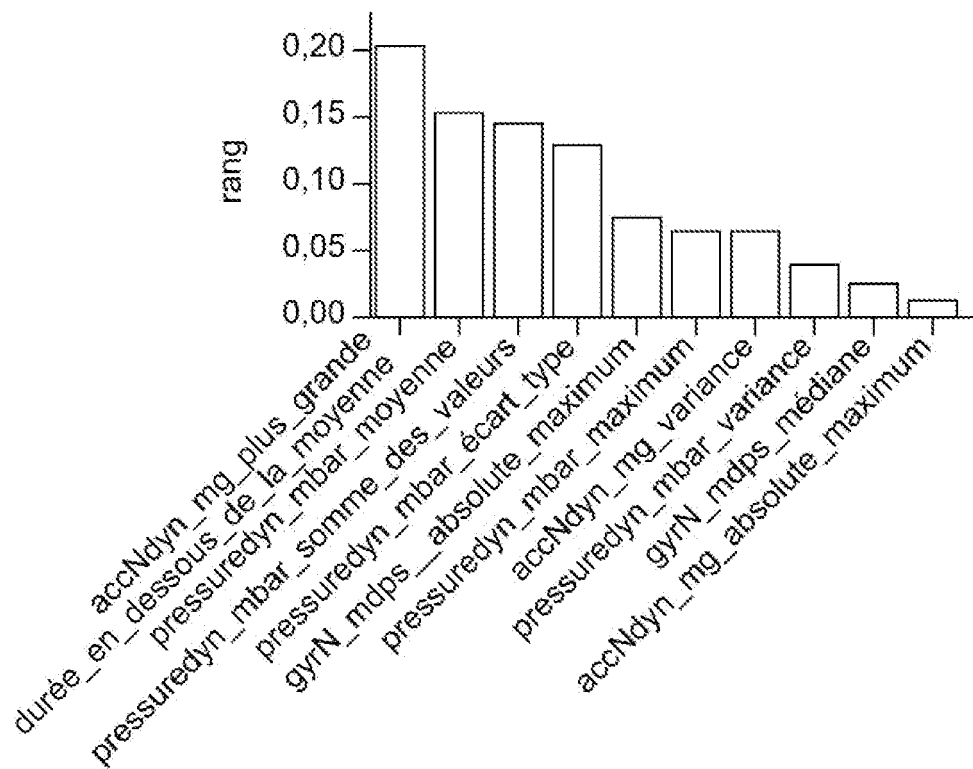
composante dynamique
de l'accélération



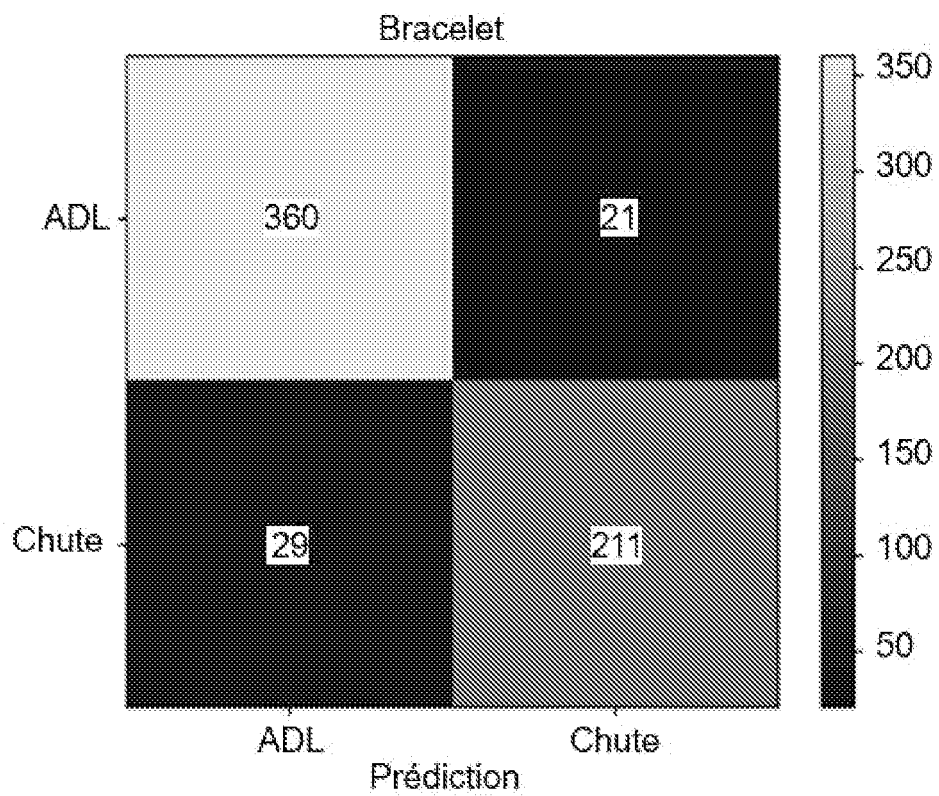
[Fig. 5A]



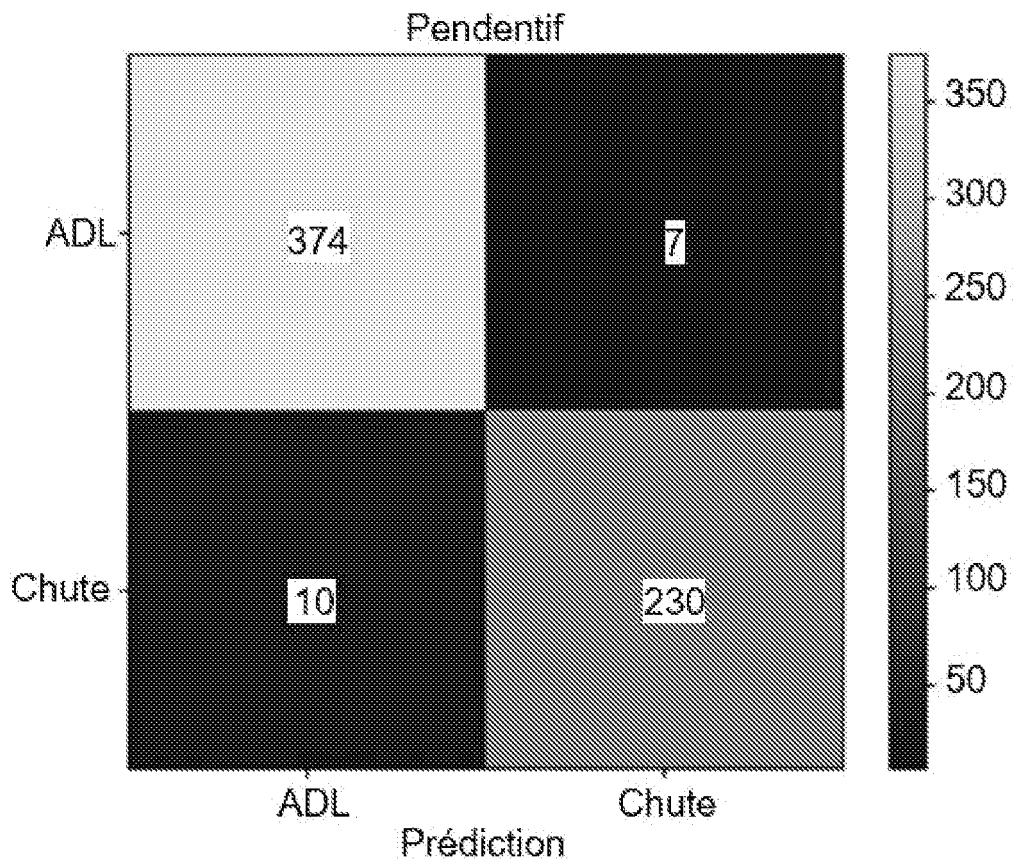
[Fig. 5B]



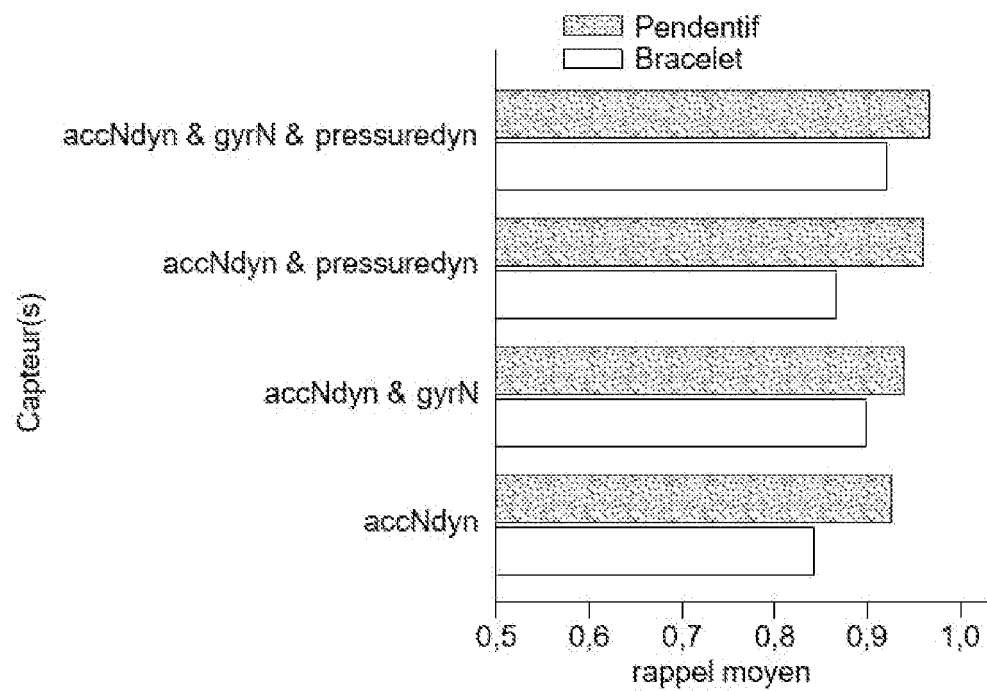
[Fig. 6A]



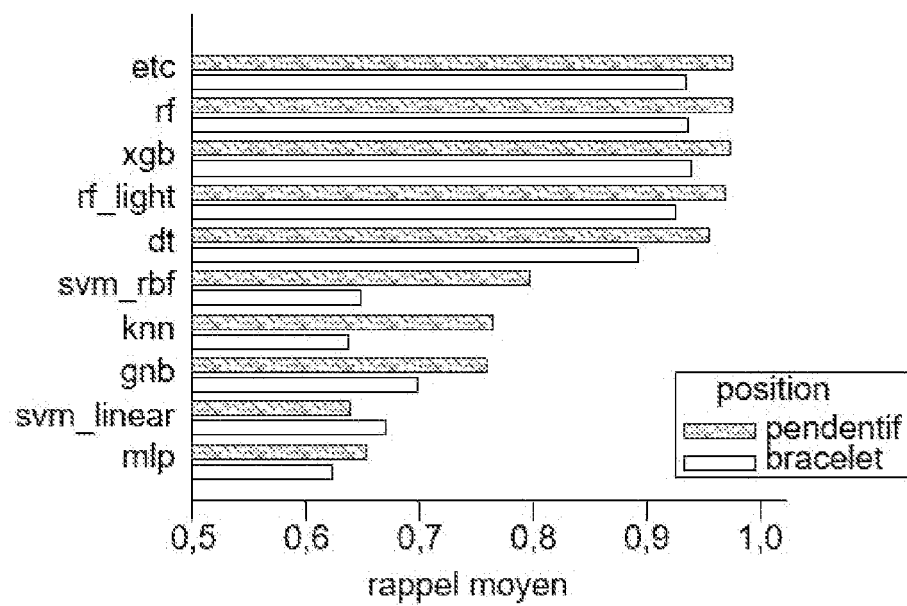
[Fig. 6B]



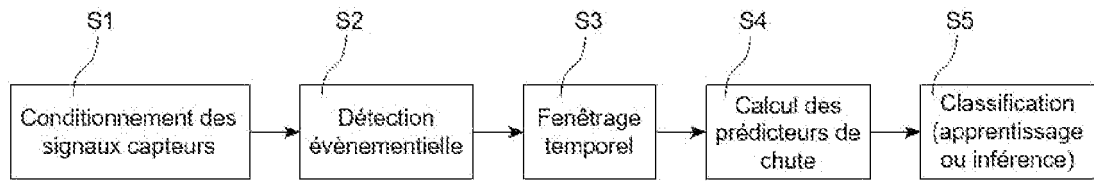
[Fig. 7]



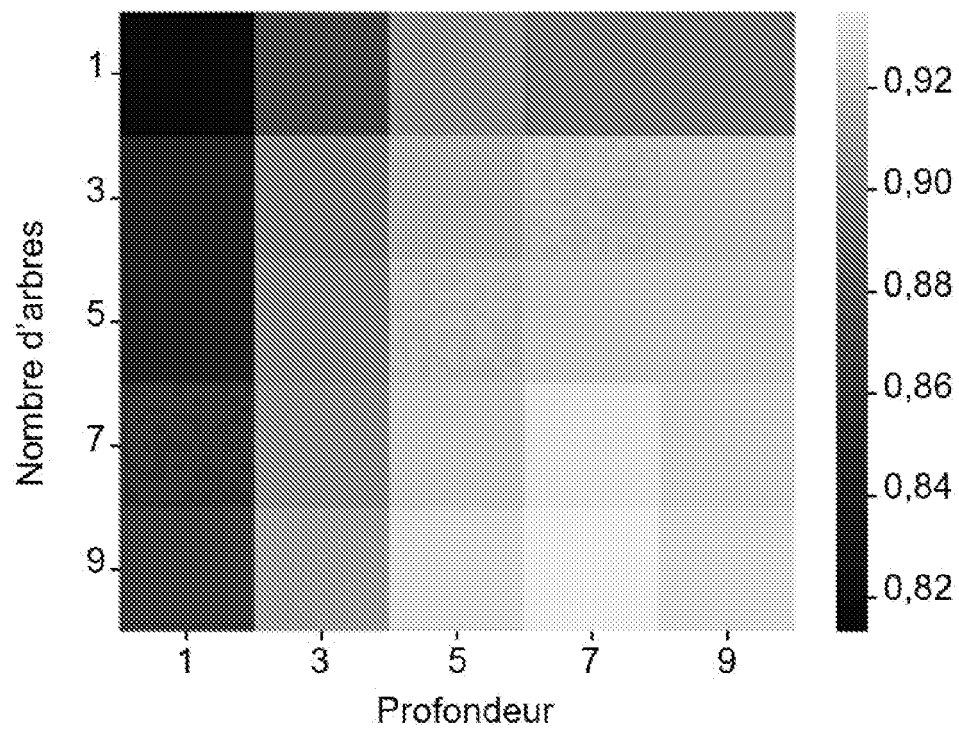
[Fig. 8]



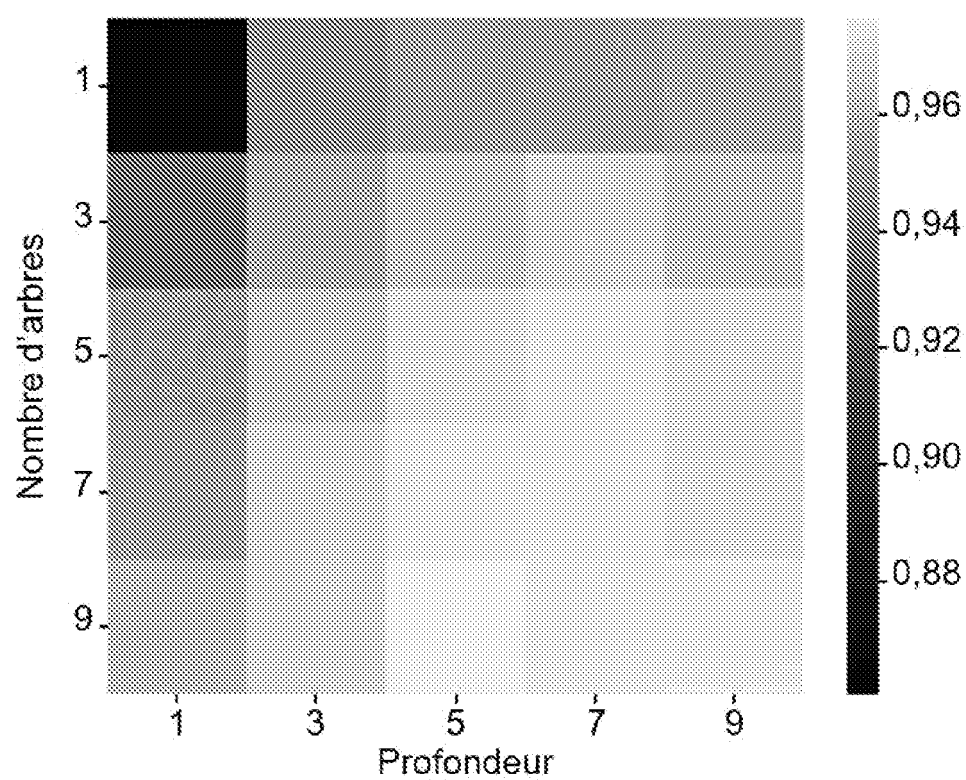
[Fig. 9]



[Fig. 10A]



[Fig. 10B]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2021/366257 A1 (TEN KATE WARNER RUDOLPH
THEOPHILE [NL] ET AL)
25 novembre 2021 (2021-11-25)

US 2020/250954 A1 (TAN XING [US] ET AL)
6 août 2020 (2020-08-06)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT