Procédé et système de protection d'une turbomachine et/ou d'un opérateur en cas de survitesse d'une turbomachine dans un banc d'essai

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de protection d'une turbomachine et/ou d'un opérateur en cas de survitesse d'une turbomachine dans un banc d'essai. La présente invention concerne également un système de protection pour la mise en œuvre d'un tel procédé.

Art antérieur

[0002] La conduite d'essais sur une turbomachine, en particulier dans le domaine aéronautique, est une tâche complexe qui nécessite une attention particulière pour la sécurité du personnel et la préservation des équipements. Ces tests visent à évaluer la performance et la fiabilité de la turbomachine dans des environnements contrôlés qui imitent les conditions réelles d'utilisation. Toutefois, ces tests présentent des risques significatifs en raison de la nature des turbomachines et de la complexité des systèmes de contrôle.

[0003] Les incidents techniques qui peuvent survenir pendant ces tests sont souvent liés à des erreurs de manipulation ou à des défaillances du logiciel de contrôle, pouvant provoquer une accélération imprévue de la turbomachine au-delà de limites de sécurité préétablies. De telles accélérations peuvent avoir des conséquences sérieuses, incluant des blessures graves pour le personnel sur place et/ou la destruction totale de l'appareil testé si des vitesses maximales tolérées sont dépassées.

[0004] C'est à l'opérateur du banc d'essai qu'incombe la responsabilité de la mise à l'arrêt de la turbomachine en cas d'incidents techniques. Cela n'est pas suffisamment fiable.

Résumé de l'invention

[0005] Dans le contexte de la présente invention, le banc d'essai comprend un système de contrôle pour contrôler la turbomachine lors d'un test et un système d'acquisition pour collecter des paramètres de fonctionnement de la turbomachine lors du test.

[0006] Un des buts de la présente invention est de fournir un procédé de protection d'une turbomachine et/ou d'un opérateur en cas de survitesse de la turbomachine lors d'un test en banc d'essai, avec un meilleur niveau de sécurité.

[0007] A cette fin, l'invention propose un procédé de protection d'une turbomachine et d'un opérateur en cas de survitesse de ladite turbomachine dans un banc d'essai, le procédé de protection comprenant les étapes suivantes :

a. fournir un système autonome de limitation de régime de ladite turbomachine, ledit système autonome de limitation étant indépendant dudit système de contrôle et dudit système d'acquisition ;

b. surveiller à l'aide dudit système autonome la vitesse de la turbomachine ;

c. lorsque ledit opérateur est présent au niveau du banc d'essai, mettre à l'arrêt par le système autonome la turbomachine lorsque sa vitesse est supérieure à un premier seuil ;

d. lorsque la vitesse de la turbomachine est supérieure à un deuxième seuil supérieur audit premier seuil, mettre à l'arrêt par le système autonome la turbomachine.

[0008] De manière générale, la réactivité d'un opérateur humain pour déclencher un arrêt d'urgence est limitée. Souvent, le temps de réaction dépasse deux secondes, ce qui est élevé compte tenu de la vitesse à laquelle une turbomachine peut passer d'un régime de ralenti à son régime maximal. Pour certaines turbomachines, le délai pour atteindre la puissance maximale depuis un état de bas régime, connu sous le terme de "snap" par un homme de métier, avoisine les 3 secondes.

[0009] Avantageusement, le procédé selon l'invention permet une intervention rapide et autonome, dès la détection d'un dépassement d'un seuil critique de

vitesse. Le premier seuil est établi principalement dans le but de protéger l'opérateur. Ce niveau de sécurité est conçu pour intervenir avant que la situation ne devienne dangereuse pour les individus présents au niveau du banc d'essai. L'objectif est de prévenir les blessures ou les dommages physiques en agissant rapidement et efficacement à la première indication d'une accélération anormale. Le deuxième seuil, quant à lui, est axé sur la protection de la turbomachine elle-même. Ce niveau est défini pour prévenir les dommages matériels qui peuvent résulter d'un fonctionnement prolongé dans des conditions anormales ou dangereuses. De ce fait, la présente invention propose un système de protection à double seuil, conçu pour assurer une sécurité optimale de l'opérateur et de la turbomachine lors des essais en banc. Contrairement aux solutions classiques qui appliquent une coupure unique en cas de survitesse sans tenir compte de la présence de l'opérateur, l'approche du double seuil permet une réaction progressive et adaptée à la gravité du dépassement de vitesse. Le premier seuil est défini pour intervenir dès qu'un opérateur est détecté dans la zone de test et que la turbomachine atteint une vitesse critique. Ce niveau de protection agit de manière préventive, stoppant immédiatement la machine avant que la situation ne devienne dangereuse pour l'opérateur. Cette approche élimine le risque de réaction tardive d'un opérateur et permet d'éviter tout accident en cas de survitesse soudaine. Le deuxième seuil est paramétré pour intervenir indépendamment de la présence d'un opérateur, lorsque la vitesse de la turbomachine dépasse le deuxième seuil. Cette protection agit comme une barrière ultime pour éviter tout dommage mécanique ou structurel à la turbomachine. Grâce à cette architecture à double seuil, l'invention assure une intervention rapide et adaptée aux différents niveaux de risque, tout en garantissant un fonctionnement sécurisé du banc d'essai.

[0010] Le procédé selon l'invention présente d'autres avantages. Le procédé peut facilement être implémentée dans des systèmes de contrôle et de sécurité existants, améliorant ainsi les mesures de sécurité sans nécessiter de modifications majeures de l'infrastructure existante.

[0011] De ce fait, l'expression « mettre en arrêt » dans le cadre de ce document, est utilisée de préférence, dans le sens où le système autonome de limitation de

régime n'agit pas directement sur les éléments physiques de la turbomachine. Au lieu de cela, le système autonome envoie un signal ou une commande à un système de contrôle d'arrêt existant de la turbomachine. Ce système de contrôle d'arrêt peut être, par exemple, le système d'arrêt d'urgence (Emergency Shutdown System - ESD), qui est connu de l'homme de métier. Ainsi, la commande du système autonome sert d'entrée pour le système d'arrêt d'urgence de la turbomachine.

[0012] L'usage, dans ce document, du verbe « comprendre », de ses variantes, et ses conjugaisons, ne peut en aucune façon exclure la présence d'éléments autres que ceux mentionnés. De même, l'usage, dans ce document, de l'article indéfini « un », « une », ou de l'article défini « le », « la » ou « l' », pour introduire un élément n'exclut pas la présence d'une pluralité de ces éléments.

[0013] Les termes « premier », « deuxième », « troisième », etc. sont, quant à eux, utilisés dans le cadre de ce document exclusivement pour différencier différents éléments, et ce sans impliquer d'ordre entre ces éléments.

[0014] Dans un mode de réalisation possible, le premier seuil correspond à une valeur de vitesse lorsque la turbomachine est dans un régime de ralenti. Le régime de ralenti comme connu de l'homme de métier, se réfère à l'état opérationnel minimal de la turbomachine, où elle tourne à la vitesse la plus basse possible tout en restant active et fonctionnelle. Le choix de ce régime comme seuil pour l'arrêt automatique, offre une sécurité accrue au personnel présent à proximité de la turbomachine pendant les essais. Par exemple, sur une turbomachine type CFM56-5B, ce premier seuil est préférentiellement compris entre 1000 tours/min et 1200 tours/min.

[0015] Dans un mode de réalisation possible, le deuxième seuil correspond à une valeur de vitesse lorsque la turbomachine est dans un régime maximum admissible. Cela vise à établir une ultime barrière de sécurité avant que la turbomachine n'atteigne des vitesses qui peuvent entraîner des défaillances catastrophiques. Le régime maximum admissible, comme connu de l'homme de métier, est défini comme la vitesse maximale à laquelle la turbomachine peut opérer sans subir de dommages irréversibles. Le deuxième seuil est donc fixé juste en dessous des

limites de conception de la turbomachine. Par exemple, sur la turbomachine CFM56-5B, ce deuxième seuil est préférentiellement compris entre 5000 tours/min et 5200 tours/min.

[0016] Dans un mode de réalisation, le régime maximum admissible provient d'un constructeur de la turbomachine. En effet, les constructeurs déterminent ce seuil après une série d'essais et d'analyses, en prenant en compte les caractéristiques de conception, les matériaux utilisés, les conditions d'opération optimales et les marges de sécurité nécessaires pour assurer une exploitation fiable et sécurisée. L'avantage de s'appuyer sur le régime maximum admissible spécifié par le constructeur réside dans sa précision et sa fiabilité.

[0017] Dans un mode de réalisation, l'arrêt est imposé à l'étape c. dans un intervalle de temps inférieur à 10ms, une fois la vitesse de la turbomachine supérieure au premier seuil. Avantageusement, cela permet une rapidité d'intervention pour prévenir efficacement les risques humains associés à une survitesse de la turbomachine.

[0018] Dans un mode de réalisation, l'arrêt est imposé à l'étape d. dans un intervalle de temps inférieur à 10ms, une fois la vitesse de la turbomachine supérieure au deuxième seuil. Avantageusement, cela permet une réaction rapide en cas de dépassement d'une vitesse encore plus critique que celle considérée à l'étape c.

[0019] Dans un mode de réalisation, le procédé selon l'invention, comprend en outre une étape de mise à l'arrêt de la turbomachine en cas de coupure d'alimentation électrique du système autonome de limitation de régime. En effet, le système autonome de limitation de régime, étant généralement alimenté en électricité, qui lui permet de surveiller la vitesse de la turbomachine et réagir aux dépassements de seuils. Cependant, la dépendance à l'électricité introduit également le risque de coupures d'électricité qui peut compromettre sa fonctionnalité. Ce mode de réalisation permet alors, d'ajouter une couche supplémentaire de sécurité pour gérer les cas de défaillance électrique ou d'autres incidents qui peuvent affecter le fonctionnement normal du système autonome.

[0020] Dans un mode de réalisation, le système autonome de limitation de régime comprend un boîtier avec de l'électronique embarquée apte à mettre à l'arrêt la

turbomachine dans les deux cas correspondant aux étapes c. et d. Avantageusement, le boîtier est compact intégrant tous les composants nécessaires pour surveiller la vitesse de la turbomachine et exécuter les commandes d'arrêt. Avantageusement, l'électronique embarquée est conçue pour fonctionner de manière autonome, pour surveiller en continu la vitesse de la turbomachine et décider de l'arrêt de celle-ci en cas de dépassement des seuils prédéfinis.

[0021] L'invention propose en outre un système autonome de limitation de régime apte à être utilisé dans un banc d'essai pour tester une turbomachine et comprenant :

- un boîtier comprenant :
  - o des composants électroniques pour recevoir des informations relatives à la vitesse d'une turbomachine ;
  - o une mémoire non volatile pour stocker un premier et un deuxième seuils d'une vitesse de la turbomachine ;
  - o un microcontrôleur pour générer une commande de mise à l'arrêt de la turbomachine sur base d'une information relative à une vitesse de la turbomachine et sur base des premier et deuxième seuils ;
- des moyens de connexion pour envoyer ladite commande de mise à l'arrêt de la turbomachine à partir du boîtier ;

le système autonome de limitation de régime étant indépendant de tout système de contrôle et d'acquisition du banc d'essai.

[0022] Avantageusement, le système autonome de limitation de régime permet de minimiser le risque d'accidents, protégeant ainsi l'équipement et le personnel, en agissant de manière autonome pour arrêter la turbomachine lorsqu'une survitesse est détectée. De plus, son design compact comprenant un boitier, avec des moyens de connexion pour l'envoi de commandes d'arrêt, assure une grande fiabilité avec un minimum de maintenance. Par ailleurs, grâce au microcontrôleur, le système autonome est capable de traiter rapidement les informations relatives à la vitesse et de générer une commande d'arrêt en temps réel. Cette capacité à réagir

instantanément aux dépassements de seuils établis assure que les actions sont prises bien avant que la situation ne devienne critique.

La mémoire non volatile, quant à elle, offre la possibilité de stocker et de modifier ces seuils de vitesse en permettant une grande flexibilité, adaptée aux spécificités de chaque turbomachine et aux conditions d'essai.

[0023] Dans un mode de réalisation particulier, les moyens de connexion comprennent des câbles électriques permettant un câblage entre le boîtier et la turbomachine. Avantageusement, les câbles électriques fournissent ainsi une connexion physique et directe, ce qui réduit les risques de perturbation ou d'interférence qui pourraient affecter des moyens de communication sans fil.

[0024] Dans un mode de réalisation possible, le microcontrôleur est configuré pour mettre en arrêt la turbomachine en cas de coupure d'alimentation électrique du boîtier. En effet, le boîtier comprend des composants électroniques, tels que le microcontrôleur, la mémoire non volatile, et d'autres circuits nécessaires pour le traitement des données, la détection de seuils de vitesse, et la génération de commandes d'arrêt. Ces composants nécessitent une source d'énergie électrique pour fonctionner correctement. Cependant, dans certaines circonstances, l'alimentation électrique peut s'avérer instable et subir des interruptions. Dans ce mode de réalisation, le fait que le microcontrôleur soit configuré pour mettre à l'arrêt la turbomachine en cas de coupure d'alimentation électrique du boîtier ajoute une couche supplémentaire de sécurité au système autonome de limitation de régime. Cette fonctionnalité assure que, même dans l'éventualité où le système lui-même est compromis par une perte d'alimentation, la turbomachine est automatiquement mise en arrêt pour prévenir tout risque potentiel.

[0025] Les inventeurs proposent aussi un système de protection pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'un quelconque des modes de réalisation susmentionnés, et comprenant :

- un premier capteur pour détecter une présence de l'opérateur dans une zone donnée ;
- un deuxième capteur pour mesurer la vitesse de la turbomachine ;

- un système autonome de limitation de régime selon l'un quelconque des trois modes de réalisation susmentionnés.

Brève description des figures

[0026] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, pour la compréhension de laquelle on se reportera aux figures annexées, parmi lesquelles :

- la figure 1 illustre une représentation schématique des étapes du procédé selon l'invention ;
- la figure 2 illustre une représentation schématique d'un système pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention ;
- la figure 3 illustre une vue d'un opérateur présent dans une zone donnée du banc d'essai.

[0027] Les dessins des figures ne sont pas à l'échelle. Des éléments semblables sont en général dénotés par des références semblables dans les figures. Dans le cadre du présent document, les éléments identiques ou analogues peuvent porter les mêmes références. En outre, la présence de numéros ou lettres de référence aux dessins ne peut être considérée comme limitative, y compris lorsque ces numéros ou lettres sont indiqués dans les revendications.

Description détaillée de certains modes de réalisation de l'invention

[0028] Cette partie présente une description détaillée de certains modes de réalisation de la présente invention. Cette dernière est décrite avec des réalisations particulières et des références à des figures mais l'invention n'est pas limitée par celles-ci. En particulier, les dessins et les figures décrits ci-dessous ne sont que schématiques et ne sont pas limitants.

[0029] La figure 1 illustre une représentation schématique des étapes du procédé de protection d'une turbomachine et d'un opérateur en cas de survitesse de la turbomachine dans un banc d'essai. Le banc d'essai comprenant un système de contrôle pour contrôler la turbomachine lors d'un test et un système d'acquisition pour collecter des paramètres de fonctionnement de la turbomachine lors du test. Le procédé selon l'invention comprend une étape a. consistant à fournir un système

autonome de limitation de régime de la turbomachine. Le système autonome de limitation étant indépendant du système de contrôle et du système d'acquisition de la turbomachine. Une étape b. du procédé, consiste à surveiller à l'aide du système autonome, la vitesse de la turbomachine. Une étape c. du procédé, consiste à, lorsque l'opérateur est présent au niveau du banc d'essai, mettre à l'arrêt par le système autonome la turbomachine lorsque sa vitesse est supérieure à un premier seuil. Une étape d. du procédé, consiste à, lorsque la vitesse de la turbomachine est supérieure à un deuxième seuil supérieur au premier seuil, mettre à l'arrêt par le système autonome la turbomachine. Préférentiellement, le premier seuil correspond à une valeur de vitesse lorsque la turbomachine est dans un régime de ralenti. Préférentiellement, le deuxième seuil correspond à une valeur de vitesse lorsque la turbomachine est dans un régime maximum admissible. Le régime maximum admissible provient de préférence, d'un constructeur de la turbomachine. Par exemple, sur une turbomachine type CFM56-5B, le premier seuil est préférentiellement fixé à 1150 tours/min (Ralenti Sol) et le deuxième seuil est préférentiellement fixé à 5100 tours/min. Préférentiellement, le procédé de protection selon l'invention comprend en outre une étape (non représentée) de mise à l'arrêt de la turbomachine en cas de coupure d'alimentation électrique du système autonome de limitation de régime.

[0030] La figure 2 illustre une représentation schématique d'un système de protection 40 destiné à la mise en œuvre du procédé selon l'invention. Tel qu'illustré dans la figure 2, le système autonome 5 de limitation de régime comprend un boîtier 3. Le boîtier 3, offre une protection optimale contre la poussière et l'humidité, garantissant ainsi le fonctionnement optimal des composants électroniques qu'il abrite.

[0031] Le boitier 3 comprend des composants électroniques 16 conçus pour recevoir des informations relatives à la vitesse d'une turbomachine. Ils incluent, de préférence, des amplificateurs et des conditionneurs de signal. Ces derniers assurent l'ajustement et le filtrage des signaux entrants pour que leur amplitude et leur format soient adaptés au traitement. Celui-ci est assuré par un microcontrôleur 11 qui est capable de générer une commande d'arrêt de la turbomachine, en

s'appuyant sur les données de vitesse reçues et sur des seuils prédéfinis stockés dans une mémoire 10 non volatile.

[0032] La mémoire non volatile 10 pouvant, par exemple, prendre la forme d'une EEPROM (Electrically-erasable programmable read-only memory). Celle-ci permet de conserver des données, telles que les seuils de vitesse pour l'arrêt de la turbomachine, même en cas de coupure de courant. Grâce à sa capacité à être reprogrammée électriquement, la mémoire 10 permet une mise à jour des seuils selon les besoins, sans nécessiter le remplacement complet du système autonome 5 de limitation de régime.

[0033] De préférence, le microcontrôleur 11 n'intervient pas directement sur les composants physiques de la turbomachine. Le microcontrôleur 11 transmet, de préférence, un signal ou une commande à un système de contrôle d'arrêt existant de la turbomachine, tel que le système d'arrêt d'urgence (Emergency Shutdown System - ESD), bien connu de l'homme de métier. La commande émanant du microcontrôleur 11 sert alors d'entrée au système d'arrêt d'urgence de la turbomachine, ajoutant une couche supplémentaire de sécurité sans nécessiter de modifications majeures au niveau du système de contrôle principal de la turbomachine.

[0034] Le microcontrôleur 11 peut, par exemple, être un microcontrôleur AVR de chez Atmel, programmé pour analyser les signaux d'entrée, comparer ces données aux seuils stockés dans la mémoire 10, et générer des commandes d'arrêt si nécessaire.

[0035] De préférence, le microcontrôleur 11, la mémoire non volatile 10 et les composants électroniques dédiés à la réception des informations de vitesse sont intégrés sur une carte de circuit imprimé (PCB). Cette intégration vise à créer un système compact, robuste et facile à installer.

[0036] Le boîtier 3 est généralement alimenté par une source d'électricité standard de l'installation. Préférentiellement, le microcontrôleur 11 est configuré pour initier un arrêt de la turbomachine en cas de coupure d'alimentation électrique du boîtier 3, ajoutant ainsi une protection supplémentaire. Cette fonctionnalité est possible, par exemple, grâce à un circuit détecteur de coupure d'alimentation, conçu pour

inactiver le microcontrôleur 11 immédiatement lorsque la tension d'alimentation passe sous un seuil critique, et ceci sans nécessité d'utilisation de moyen de secours de type batterie. Par construction si le microcontrôleur est inactivé, la protection est toujours active (logique sécuritaire).

[0037] La liaison entre le boîtier 3 et la turbomachine est établie grâce à des moyens de connexion 9 pour envoyer la commande de mise à l'arrêt de la turbomachine à partir du boîtier 3. Ces moyens de connexions 9 sont, de préférence, sous forme de câbles électriques pour un câblage direct. Cela assure une transmission efficace et immédiate des commandes d'arrêt.

[0038] Enfin, le système de protection 40 inclut également un premier 12 et un deuxième 13 capteurs. Le premier capteur 12 a pour rôle de détecter la présence de l'opérateur dans une zone donnée du banc d'essai. Ce capteur 12 peut être, par exemple, un capteur TOR au niveau de la porte d'accès au banc d'essai. Le capteur active un signal qui est envoyé au système autonome 5 de limitation de régime. Un capteur TOR ou Tout Ou Rien est connu d'un homme du métier.

[0039] Le deuxième capteur 13, quant à lui, est chargé de mesurer la vitesse de la turbomachine. Un exemple d'un capteur 13 est le capteur à effet Hall, utilisé pour une mesure précise et en temps réel de la vitesse de rotation de la turbomachine, ou encore le capteur d'origine installé sur la turbomachine.

[0040] Ces capteurs, à travers leur fonctionnalité et leur intégration au système autonome 5 de limitation de régime, permet de fournir des données essentielles au microcontrôleur 11 pour une prise de décision rapide et efficace, garantissant ainsi une sécurité optimale au niveau du banc d'essai.

[0041] La figure 3 illustre une vue d'un opérateur 22 présent dans une zone donnée du banc d'essai 7. Dans le banc d'essai 7, on trouve préférentiellement, une zone centrale où une turbomachine 15 est testée équipée de divers instruments pour tester ses performances. le banc d'essai 7 est doté, par exemple, de passerelles latérales. Ces passerelles, conçues pour la sécurité et l'accessibilité, permettent à un opérateur de surveiller de près les opérations de test tout en se déplaçant facilement le long du banc d'essai 7. Elles sont équipées, par exemple, de garde-

corps pour prévenir les chutes accidentelles et assurer la sécurité de l'opérateur pendant les tests.

[0042] L'opérateur 22 est, par exemple, représenté debout sur l'une de ces passerelles. Le premier capteur 12 est, par exemple, monté sur la porte d'accès du banc d'essai. Le premier capteur 12 détecte la présence de l'opérateur 22 dans la zone désignée, et envoie un signal au système autonome 5 de limitation de régime qui met à l'arrêt la turbomachine 15 lorsque sa vitesse dépasse le premier seuil. Celui-ci, de préférence, correspond à une valeur de vitesse lorsque la turbomachine 15 est dans un régime de ralenti.

[0043] En résumé, l'invention concerne un procédé de protection d'une turbomachine 15 et/ou d'un opérateur 22 en cas de survitesse d'une turbomachine 15 dans un banc d'essai 7. L'invention permet de renforcer le niveau de sécurité et garantir une intervention autonome et rapide, pour protéger à la fois le personnel et l'équipement.

[0044] La présente invention a été décrite ci-dessus en relation avec des modes de réalisations spécifiques, qui ont une valeur purement illustrative et ne doivent pas être considérés comme limitatifs. Il apparaîtra directement pour l'homme du métier que l'invention n'est pas limitée aux exemples illustrés ou décrits ci-dessus, et que sa portée est plus largement définie par les revendications ci-après introduites.

Revendications

1. Procédé de protection d'une turbomachine d'aéronef (15) et/ou d'un opérateur (22) en cas de survitesse de ladite turbomachine (15) dans un banc d'essai (7), ledit banc d'essai (7) comprenant un système de contrôle pour contrôler la turbomachine (15) lors d'un test et un système d'acquisition pour collecter des paramètres de fonctionnement de la turbomachine lors dudit test, le procédé de protection comprenant les étapes suivantes :

a. fournir un système autonome (5) de limitation de régime de ladite turbomachine (15), ledit système autonome (5) de limitation étant indépendant dudit système de contrôle et dudit système d'acquisition ;

b. surveiller à l'aide dudit système autonome (5) la vitesse de la turbomachine ;

c. lorsque ledit opérateur (22) est présent au niveau du banc d'essai (7), mettre à l'arrêt par le système autonome (5) la turbomachine (15) lorsque sa vitesse est supérieure à un premier seuil ;

d. lorsque la vitesse de la turbomachine (15) est supérieure à un deuxième seuil supérieur audit premier seuil, mettre à l'arrêt par le système autonome (5) la turbomachine (15).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit premier seuil correspond à une valeur de vitesse lorsque la turbomachine (15) est dans un régime de ralenti.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit deuxième seuil correspond à une valeur de vitesse lorsque la turbomachine (15) est dans un régime maximum admissible.

4. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le régime maximum admissible provient d'un constructeur de la turbomachine (15).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'arrêt est imposé à l'étape c. dans un intervalle de temps inférieur à 10ms, une fois la vitesse de la turbomachine (15) supérieure au premier seuil.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'arrêt est imposé à l'étape d. dans un intervalle de temps inférieur à 10ms, une fois la vitesse de la turbomachine (15) supérieure au deuxième seuil.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape de mise à l'arrêt de la turbomachine (15) en cas de coupure d'alimentation électrique dudit système autonome (5) de limitation de régime.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le système autonome de limitation de régime comprend un boîtier (3) avec de l'électronique embarquée apte à mettre à l'arrêt la turbomachine (15) dans les deux cas correspondant aux étapes c. et d.

9. Système autonome (5) de limitation de régime apte à être utilisé dans un banc d'essai (7) pour tester une turbomachine (15) et comprenant:

- un boîtier (3) comprenant :
  - o des composants électroniques (16) pour recevoir des informations relatives à la vitesse d'une turbomachine (15) ;
  - o une mémoire (10) non volatile pour stocker un premier et un deuxième seuils d'une vitesse de la turbomachine (15) ;
  - o un microcontrôleur (11) pour générer une commande de mise à l'arrêt de la turbomachine (15) sur base d'une information relative à une

vitesse de la turbomachine (15) et sur base des premier et deuxième seuils;

- des moyens (9) de connexion pour envoyer ladite commande de mise à l'arrêt de la turbomachine (15) à partir du boîtier (3) ;

ledit système autonome (5) de limitation de régime étant indépendant de tout système de contrôle et d'acquisition du banc d'essai (7).

10. Système autonome (5) de limitation de régime selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les moyens (9) de connexion comprennent des câbles électriques permettant un câblage entre le boîtier (3) et la turbomachine (15).

11. Système autonome (5) de limitation de régime selon l'une quelconque des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que le microcontrôleur (11) est configuré pour mettre en arrêt la turbomachine (15) en cas de coupure d'alimentation électrique dudit boîtier (3).

12. Système (40) de protection pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 et comprenant :

- un premier (12) capteur pour détecter une présence de l'opérateur dans une zone donnée ;
- un deuxième (13) capteur pour mesurer la vitesse de la turbomachine ;
- un système autonome (5) de limitation de régime selon l'une quelconque des trois revendications précédentes.