

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
04 juin 2020 (04.06.2020)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/109945 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G05B 23/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/IB2019/060058

(22) Date de dépôt international :
22 novembre 2019 (22.11.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
18/71850 26 novembre 2018 (26.11.2018) FR
19/03341 29 mars 2019 (29.03.2019) FR

(71) Déposant : BRAINCUBE [FR/FR] ; 77 Route de Saint-Germain, 63500 Issoire (FR).

(72) Inventeurs : CROS, Hervé ; c/o Brincube, 77 Route de Saint-Germain, 63500 Issoire (FR). RUBAT DU MERAC, Sylvain ; c/o Brincube, 77 Route de Saint-Germain, 63500 Issoire (FR). LAPORTE, Laurent ; c/o Brincube, 77 Route de Saint-Germain, 63500 Issoire (FR).

(74) Mandataire : TWENANS ; 29 Rue des Chandiots, 63100 Clermont-Ferrand (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(54) Title: METHOD FOR TUNING AN INDUSTRIAL PROCESS

(54) Titre : PROCEDE DE REGULATION D'UN PROCESSUS INDUSTRIEL

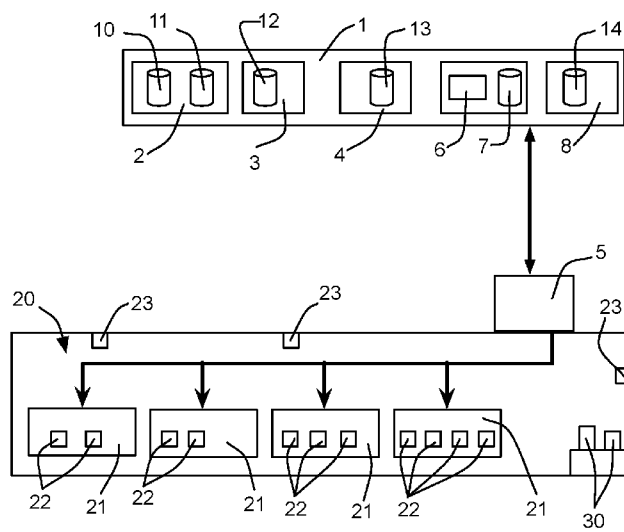


Figure 1

(57) Abstract: : A method for adjusting process parameters of an industrial process in a factory, comprising a step of obtaining historical data, a step of introducing specifications of a product to be manufactured using the industrial process and of introducing performance parameters of the corresponding industrial process, a step of identifying at least one specification of the product or a performance parameter of the industrial process to be improved, generating the industrial-performance objective to be achieved, and a step of determining, by analysing the historical data, at least one value for tuning the control module of the industrial process allowing the product to be manufactured according to the specifications while aiming to achieve the industrial-performance objective.

SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(57) Abrégé : Procédé d'ajustement de paramètres de processus dans un processus industriel d'une usine, comprenant une étape d'obtention de données historiques, une étape d'introduction de spécifications d'un produit à fabriquer à l'aide du processus industriel et d'introduction de paramètres de performances du processus industriel correspondant, une étape d'identification d'au moins une spécification du produit ou d'un paramètre de performance du processus industriel à améliorer, constituant l'objectif de performance industrielle à atteindre, une étape de détermination, par analyse des données historiques, d'au moins une valeur de réglage du module de commande du processus industriel permettant de fabriquer le produit selon les spécifications tout en visant l'atteinte de l'objectif de performance industrielle.

Procédé de régulation d'un processus industriel

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[001] La présente invention concerne un appareil numérique de régulation d'un processus industriel conçu pour la fabrication d'une famille de produits, ledit processus industriel comprenant une pluralité d'éléments de machine conçus pour opérer avec des plages de valeurs de paramètres de consigne à l'intérieur desquelles les produits de la famille de produits sont susceptibles d'être fabriqués, les éléments de machines étant couplés à des capteurs adaptés pour recevoir des données de paramètres opérationnels du processus industriel lors de la fabrication des produits.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[002] Le document EP3379357 décrit un système de surveillance de procédé industriel utilisant un contrôleur de procédé avancé (APC) relié à des capteurs de statut du procédé et un module de détection d'anomalie du procédé industriel utilisant des modèles provenant d'apprentissage automatique (MLM). Le système permet de générer des alertes en cas de fonctionnement anormal du procédé industriel ou de l'APC. Ce type de système est basé sur un ou plusieurs modèles tentant de représenter le procédé industriel. L'établissement de modèles est un processus souvent très complexe, rendant cette approche fastidieuse pour des procédés industriels complexes. Il existe par ailleurs toujours un écart entre le modèle et le procédé réel. Le fait de détecter les erreurs de fonctionnement du procédé ne permet pas pour autant d'améliorer le procédé ou les performances du procédé.

[003] Le document EP0097053 décrit un appareil numérique de régulation de type PID destiné à calculer un signal de régulation sous la forme d'un signal d'entrée d'un processus. Ce dispositif permet d'effectuer une régulation d'un processus en cours de fonctionnement en détectant l'erreur par rapport à une consigne. Aucun moyen n'est fourni pour permettre de lancer le processus dans des conditions optimales ni pour optimiser le processus en cours. Par ailleurs, une ou plusieurs consignes doivent être fournies au dispositif.

[004] Le document US2004267399 décrit un procédé de contrôle de la fabrication de semi-conducteurs permettant à un contrôleur de surveiller l'évolution de la fabrication de plaques de semi-conducteur entre deux phases de fabrication. Le procédé fait appel à

une modélisation du procédé. La mise en place d'une modélisation fidèle et véritablement représentative d'un procédé peut s'avérer très lourde et souvent très longue. Le procédé est prévu pour la fabrication de tranches de semi-conducteurs, soit un produit unique, qui doit être constant dans le temps, sans variation des paramètres. Le procédé ne convient pas pour un processus impliquant diverses familles de produits, car, à chaque changement de produit ou de paramètre, la modélisation devrait être revue, ce qui serait particulièrement fastidieux et coûteux. D'autre part, les processus industriels de fabrication ou de production sont intrinsèquement très complexes, avec plusieurs centaines ou milliers de paramètres, qu'une modélisation ne peut pas prendre en compte de façon fiable, exacte ou véritablement exhaustive. Enfin, le procédé ne permet pas et ne donne aucun moyen permettant de mettre en œuvre une optimisation du procédé et/ou du produit.

[005] Le document EP2042958 décrit un procédé de contrôle de qualité d'une chaîne de fabrication dans lequel on collecte les données de production pour constituer un historique. Ces données sont ensuite utilisées afin de contrôler la qualité du processus de fabrication lors des phases ultérieures. Le procédé permet ainsi de détecter des déviations éventuelles. Toutefois, le procédé ne permet pas et ne donne aucun moyen permettant de mettre en œuvre une optimisation du procédé et/ou du produit.

[006] Il existe donc un besoin pour un dispositif qui permet de faciliter le démarrage d'un procédé de fabrication et pour permettre d'optimiser le procédé une fois ce dernier en cours. Pour pallier ces différents inconvénients, l'invention prévoit différents moyens techniques.

EXPOSE DE L'INVENTION

[007] Tout d'abord, un premier objectif de l'invention consiste à fournir un procédé permettant de faciliter le lancement d'un procédé industriel de fabrication en vue de l'obtention de caractéristiques spécifiques dans un délai le plus court possible.

[008] Un autre objectif de l'invention consiste à fournir un procédé qui permet de réguler un procédé industriel sans devoir utiliser une modélisation de ce procédé.

[009] Encore un autre objectif de l'invention consiste à fournir un procédé qui permet d'optimiser les paramètres opérationnels d'un procédé de fabrication.

[0010] Pour ce faire, l'invention prévoit un procédé d'ajustement (setting) de paramètres de processus dans un processus industriel d'une usine, ledit procédé étant contrôlé par un module de commande, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- i) une étape d'obtention de données historiques, à l'aide d'un module de données historiques en relation avec une pluralité de sources de données en relation avec le processus industriel, lesdites données historiques comprenant des données d'ajustement de paramètres, des données de paramètres de performances du processus et des données de spécifications du produit issu du processus industriel ;
- ii) une étape de réception de spécifications d'un produit à fabriquer à l'aide du processus industriel et de réception de paramètres de performances du processus industriel correspondant ;
- iii) une étape d'identification d'au moins une spécification du produit ou d'un paramètre de performance du processus industriel à améliorer, constituant l'objectif de performance industrielle à atteindre ;
- iv) une étape de détermination, par analyse des données historiques, d'au moins une valeur de réglage (dites valeur de réglage d'atteinte d'objectif) du module de commande du processus industriel permettant de fabriquer le produit selon les spécifications tout en visant l'atteinte de l'objectif de performance industrielle ;
- v) l'étape d'analyse des données historiques comportant une phase d'identification des paramètres de performance du processus impactant ledit processus et/ou le produit mis en œuvre par ledit processus ainsi que les données correspondantes de niveau d'impact sur le processus pour chacun des paramètres ;
- vi) une étape de sélection d'au moins un paramètre impactant en fonction de son niveau élevé d'impact sur le processus et/ou le produit mis en œuvre ;
- vii) une étape d'identification dans les données historiques d'un sous-ensemble de valeurs où le paramètre impactant identifié présente des valeurs identiques ou voisines de la valeur actuelle du paramètre impactant identifié ;
- viii) une étape d'identification, dans le sous-ensemble, des valeurs historiques de réglage qui correspondent à l'objectif de performance industrielle ;
- ix) une étape d'envoi des valeurs de réglage identifiées au module de contrôle du processus industriel et mise en œuvre du processus selon ces valeurs.

[0011] Un tel mode de réalisation permet de faciliter le lancement d'un procédé industriel de fabrication en vue de l'obtention de caractéristiques spécifiques dans un délai le plus court possible, sans devoir utiliser une modélisation de ce procédé. Le procédé fonctionne

avantageusement sans modélisation du processus. Du fait de l'imprécision des modélisations, et/ou de la grande difficulté à modéliser les processus industriels complexes impliquant souvent plusieurs milliers de paramètres, le fait de pouvoir se baser uniquement sur les données historiques (sans modélisation) permet l'obtention de résultats fiables, à des coûts avantageux.

[0012] Le procédé est avantageusement conçu pour des familles de produits (par exemple différents types de papiers ou différentes couleurs de peintures, etc) et/ou des processus avec des performances industrielles comprises dans une gamme de valeurs (par exemple plusieurs vitesses, températures, humidités, etc) appelées à varier de façon récurrentes en fonction des besoins et/ou des contraintes de production.

[0013] De manière avantageuse, les nouvelles données issues du processus sont transmises à la base de données historiques pour de futures itérations.

[0014] Selon un premier mode de réalisation avantageux, au moins une donnée de spécifications de produits est modifiée et une nouvelle itération est reprise à l'étape ii.

[0015] Selon un autre mode de réalisation avantageux, au moins une valeur de paramètre de performance du processus industriel est modifiée et une nouvelle itération est reprise à l'étape ii.

[0016] De manière avantageuse, certains paramètres de performance du processus correspondent à des paramètres réglables (par le module de commande agissant sur la chaîne de fabrication) par l'envoi d'une valeur de réglage au module de commande. Il peut s'agir par exemple, la vitesse de défilement, la température d'un four, etc.

[0017] En variante, certains paramètres de performance du processus ne comportent pas de paramètres réglables correspondants. Il peut s'agir par exemple, l'heure, la météo, la composition ou le niveau de qualité d'un élément servant de matière première, etc.

[0018] Selon divers modes de réalisation, l'étape viii est réalisée en se basant sur les valeurs maximisant le rang, ou maximisant le rang effectif.

[0019] Les étapes du procédé sont avantageusement répétées une ou plusieurs fois jusqu'à atteinte d'un critère d'arrêt, comme par exemple la fin d'une production, l'obtention d'un résultat stabilisé, ou autre.

[0020] Un temps de latence est avantageusement prévu entre chaque nouvelle consigne. Ce temps de latence permet que l'effet technique lié à la nouvelle valeur de consigne ait le temps de se produire.

[0021] Selon un autre mode de réalisation, au moins un paramètre opérationnel à optimiser correspond à une spécification technique du produit à fabriquer.

[0022] De manière avantageuse, l'étape d'optimisation est basée sur l'analyse des données des paramètres opérationnels et des consignes des itérations antérieures, pour viser une amélioration continue du paramètre opérationnel à optimiser.

[0023] Egalement de manière avantageuse, l'étape d'optimisation ou d'amélioration continue comprend une sous-étape de séparation des données d'itérations antérieures de paramètres industriels autour d'une médiane.

[0024] Le procédé comprend avantageusement une étape de maximisation ou de minimisation ou de stabilisation.

[0025] L'invention prévoit également un appareil numérique de régulation (ou pilotage automatique) d'un processus industriel conçu pour la fabrication d'une famille de produits, ledit processus industriel comprenant une pluralité d'éléments de machine conçus pour opérer à l'intérieur de plages de valeurs de paramètres de consigne à l'intérieur desquelles les produits de la famille de produits sont susceptibles d'être fabriqués, les éléments de machines étant couplés à des capteurs adaptés pour recevoir des données de paramètres opérationnels effectifs du processus industriel lors de la fabrication des produits, ledit appareil numérique de régulation comprenant :

- i) un module de spécifications techniques de produits à fabriquer par le processus industriel ;
- ii) un module de paramètres industriels, recevant desdits capteurs intégrés au processus industriel des données de paramètres opérationnels effectifs du processus lors de la fabrication de produits par le processus ;

- iii) un module de calcul de consigne par apprentissage automatique, conservant les données de paramètres opérationnels d'itérations antérieures du processus industriel en relation avec les données de consignes appliquées à chaque élément de machine lors de ces itérations antérieures, ledit module de calcul de consigne par apprentissage automatique étant conçu pour définir (sans faire appel à une modélisation du processus industriel) un ensemble de valeurs de consignes à affecter auxdits éléments de machine en fonction d'une part des spécifications techniques d'un type de produit à fabriquer et d'autre part de tout ou partie des données de paramètres opérationnels d'itérations antérieures du processus industriel de façon à optimiser au moins un des paramètres opérationnels du processus industriel en utilisant les données de paramètres opérationnels d'itérations antérieures du processus industriel pour des spécifications techniques identiques ou voisines ;
- iv) un module de commande d'éléments de machine, relié au module de calcul de consigne par apprentissage automatique, et à chacun desdits éléments de machine, apte à commander le processus industriel de fabrication en fournissant à chacun desdits éléments de machine au moins une valeur de consigne obtenue par ledit module de calcul de consigne par apprentissage automatique.

[0026] Selon un mode de réalisation avantageux, le module de spécifications techniques de produits comprend des données de spécifications techniques de produits à fabriquer par le processus industriel et des données de paramètres opérationnels à optimiser.

[0027] Selon une variante avantageuse, le module de paramètres industriels comprend des données de paramètres non réglables provenant de capteurs de données de paramètres non réglables du processus industriel et le module de calcul de consignes comprend des données historiques de paramètres non réglables.

DESCRIPTION DES FIGURES

[0028] Tous les détails de réalisation sont donnés dans la description qui suit, complétée par les figures 1 et 2, présentées uniquement à des fins d'exemples non limitatifs, et dans lesquelles:

- la figure 1 est une représentation schématique d'un exemple d'appareil numérique de régulation connecté à un processus industriel;
- la figure 2 est un organigramme fonctionnel d'un exemple de procédé de régulation automatique.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0029] Par paramètre non réglable, on entend un paramètre pour lequel une consigne donnée à un élément de machine du processus industriel n'a pas d'effet direct sur ce paramètre. Ceci peut être dû au fait que le paramètre ne peut pas (ou peut difficilement) être contrôlé par un élément de machine (météo, paramètre temporel, etc.) Il peut s'agir par exemple d'une valeur physique liée à l'environnement dans lequel le processus industriel est mis en œuvre et sur lequel aucun élément de machine ne peut agir, ou un paramètre extrinsèque au processus de fabrication avec ses éléments de machines, comme par exemple la composition chimique ou la provenance d'une matière première utilisée dans le processus de fabrication. Il peut aussi s'agir d'un paramètre qui n'est plus modifiable au moment où la consigne est calculée. Par exemple une réserve de pâte à papier est fabriquée à un certain moment, avec une composition qui est la résultante de réglages, mais une fois cette réserve constituée, la suite du processus industriel utilise cette réserve sans en modifier la composition. Les paramètres de réglage qui ont été employés pour la fabrication de la pâte sont alors vus comme des paramètres non réglables pour la suite du processus.

[0030] La figure 1 est une représentation schématique d'un processus industriel 20 prévu pour la fabrication d'une famille de produits 30. Par famille de produits, on entend un produit pouvant présenter plusieurs variantes ou versions, ces variantes ou versions étant distinguées les unes des autres par des spécifications techniques de produits 30 spécifiques.

[0031] Le processus industriel 20 est mis en œuvre par une pluralité d'éléments de machine 21. Chaque élément de machine 21 met en œuvre une ou plusieurs fonctions de fabrication pour lesquelles il est spécifiquement conçu. Chacun des éléments de machine est commandé par une ou plusieurs valeurs de réglage 13 calculées par un module de réglage 4 tel que décrit ci-après. Les valeurs sont en général comprises à l'intérieur de plages de valeurs de paramètres de consigne à l'intérieur desquelles les produits 30 de la famille de produits sont susceptibles d'être fabriqués. Un module 5 de commande d'éléments de machine 21 est relié à chacun desdits éléments de machine 21 et est adapté pour commander le processus industriel de fabrication en fournissant à chacun de ces éléments de machine 21 la ou les valeurs de réglage 13 calculées permettant de fabriquer le produit souhaité, avec les spécifications techniques souhaitées.

[0032] Pendant le déroulement du processus industriel, en particulier pendant la fabrication des produits, les données effectives ou réelles des paramètres opérationnels permettant de qualifier et/ou mesurer et/ou suivre et/ou superviser le processus sont captés ou détectés par une pluralité de capteurs 22 et 23 prévus au niveau des éléments de machine 21 et/ou dans l'environnement du processus industriel.

[0033] L'appareil numérique 1 de régulation (ou pilotage automatique) du processus industriel 20 permet de générer et de fournir de façon automatique le ou les réglages (ou consignes) au module 5 de commande. Il comprend un module 2 de spécifications techniques de produits 30 à fabriquer par le processus industriel 20. Ce module regroupe l'ensemble des données 10 de spécifications techniques de la famille de produits pouvant être fabriqués par le processus industriel, ainsi que les données des paramètres 11 de performance du processus industriel. Il comprend également un module 3 d'objectif de performance industrielle, comptant les données 12 d'objectif de performance à atteindre, soit au niveau de spécification du produit et/ou au niveau de paramètres de performance industrielle à optimiser.

[0034] Un module de réglage 4, décrit ci-après, comporte les données de valeurs de réglage. Ce module 4 de réglage est par ailleurs conçu pour définir un ensemble de valeurs 13 de consignes ou réglage à affecter aux éléments de machine 21 en fonction soit des spécifications techniques 10 d'un type de produit à fabriquer, soit de paramètres opérationnels 11 du processus industriel, et en relation avec tout ou partie des données 14 historiques d'itérations antérieures du processus industriel, de façon à atteindre un objectif 12 de performance préétabli.

[0035] Un module 8 de données historiques comporte l'ensemble des données historiques 14 de réglage, de performance et de produit en liaison avec le processus de fabrication. Dans l'exemple illustré, ce module conserve les données de paramètres opérationnels d'itérations antérieures du processus industriel en relation avec les données de consignes appliquées à chaque élément de machine 21 lors des itérations antérieures du processus industriel. Ces données proviennent des capteurs 22 et 23 intégrés au processus industriel. Un microprocesseur 6 et des instructions 7 de mise en œuvre permettent à l'appareil numérique de régulation de fonctionner de façon autonome.

[0036] Les exemples 1 à 3, présentés plus loin, permettent de décrire et illustrer le mode d'optimisation mis en œuvre par le module de réglage.

[0037] La figure 2 illustre les principales étapes du procédé d'ajustement de paramètres (ou pilotage automatique) de processus industriel 20. A l'étape 40, le module 8 de données historiques reçoit des données historiques 14 du processus industriel. L'étape 41 consiste en la réception de spécifications 10 d'un produit à fabriquer et réception de paramètres de performances 11 du processus industriel correspondant. L'étape 42 permet l'identification d'au moins une spécification du produit et/ou d'un paramètre de performance du processus industriel à améliorer, constituant l'objectif 12 de performance industrielle à atteindre.

[0038] A l'étape 43, on détermine, par analyse des données historiques, au moins une valeur de réglage 13 du module de commande 50 du processus industriel permettant de fabriquer le produit 30 selon les spécifications 10 tout en visant l'atteinte de l'objectif 12 de performance industrielle. L'étape 44 est une sous-étape de l'étape 43, dans laquelle on procède à une identification des paramètres du processus impactant ledit processus et/ou le produit mis en œuvre par ledit processus ainsi que les données correspondantes de niveau d'impact sur le processus pour chacun des paramètres.

[0039] L'étape 45 consiste en une sélection d'un paramètre non réglable impactant en fonction de son niveau élevé d'impact sur le processus et/ou le produit mis en œuvre. L'étape 46 consiste à identifier, dans les données historiques 14, un sous-ensemble de valeurs où les paramètres impactant identifiés présentent des valeurs identiques ou voisines de la valeur actuelle du paramètre impactant identifié.

[0040] L'étape 47 consiste en une identification, dans le sous-ensemble, des valeurs historiques de réglage qui correspondent à l'objectif 12 de performance industrielle. Si à l'issue de l'étape 45 au moins un paramètre impactant non réglable est identifié, alors on passe à l'étape 44 pour identifier d'autres éventuels paramètres non réglables impactant dans ce sous ensemble d'historique. A l'étape 48, les valeurs de réglage 13 identifiées sont transmises au module 50 de contrôle du processus industriel qui effectue une mise en œuvre du processus industriel selon ces valeurs.

[0041] Selon un mode de réalisation, les données de paramètres opérationnels des itérations du processus industriel sont conservées en relation avec les données de consignes appliquées à chaque élément de machine 21 lors de ces itérations. Le fait de conserver les nouvelles données obtenues, en plus de données historiques permet de faire évoluer les valeurs de consigne en vue par exemple d'une évolution continue. Ainsi, les étapes préalablement décrites sont avantageusement répétées jusqu'à atteinte d'un critère d'arrêt tel que la fin de la production, ou tout autre critère d'arrêt, comme par exemple l'obtention d'un résultat stabilisé. On peut par ailleurs prévoir un temps de latence après une consigne le temps que l'effet technique de la consigne précédente se produise.

[0042] Diverses variantes du procédé sont possibles. Par exemple, le ou les paramètres opérationnels à optimiser peuvent correspondre à une ou plusieurs spécifications techniques du produit à fabriquer, comme par exemple la blancheur ou le grammage d'un papier à fabriquer.

[0043] Dans ce qui suit, sont présentées les spécificités du calcul d'identification dans les données historiques d'un sous-ensemble de valeurs où le paramètre impactant identifié présente des valeurs identiques ou voisines de la valeur actuelle du paramètre impactant identifié.

[0044] Le procédé utilise avantageusement deux approches de notation pour identifier les données pertinentes du processus à optimiser. Ces notations qualifient un sous-ensemble des données historiques: par exemple, l'historique respectant une règle exprimée par un minimum et un maximum pour un ensemble de paramètres. Ces notions sont utilisables uniquement dans les cas où les données historique sont partitionnées en deux parties: les données historiques ayant conduit à une production bonne, et celles ayant conduit à une mauvaise production. Ce partitionnement est fait en utilisant les informations reçues lors des étapes i) et ii) préalablement décrites.

[0045] La première approche concerne le rang. Il s'agit de la probabilité d'être dans une sélection des données historiques pour une production bonne, ou satisfaisant aux critères établis, moins la probabilité d'être dans la sélection des données historiques, pour une production à rejeter, ou ne satisfaisant pas aux critères établis.

[0046] Le procédé utilise de préférence une approche perfectionnée du rang, dénommée dans ce qui suit le « rang effectif ».

[0047] Etant donné un objectif catégorisé en deux classes (une classe à reproduire, une autre à éviter), le rang mesure le pouvoir de séparation, entre les deux classes, d'un intervalle d'une variable ou de la combinaison de plusieurs intervalles de variables. Classiquement les deux classes identifient des productions ou produits que l'on souhaite reproduire (produits bons) et d'autres que l'on souhaite éviter (produits mauvais). On peut ainsi séparer les lots d'une production selon la quantité d'énergie consommée ou le rendement par exemple.

[0048] Comme tout intervalle possède un rang, on peut obtenir des rangs avec un jeu de données aléatoire. Le rang effectif ne correspond pas à la valeur de rang brute calculée, mais à cette valeur diminuée du rang d'un jeu de données aléatoires possédant les mêmes caractéristiques (nombre de points, répartition entre les deux catégories). Le résultat obtenu est donc un supplément d'information par rapport à l'aléatoire : le rang effectif permet de se prémunir des artefacts mathématiques auxquels le rang pourrait être sujet. Toute combinaison d'intervalles possède un rang effectif.

[0049] On introduit ensuite la notion de rang effectif d'une variable ou d'un ensemble de variables : il s'agit du rang effectif de l'intervalle de la variable ou de la combinaison d'intervalles de variables possédant le rang maximum. Schématiquement, le calcul du rang effectif d'une variable consiste à calculer le rang de tous les intervalles possibles (ou de toutes les combinaisons d'intervalle possible en multi-varié) et de retenir l'intervalle présentant le rang le plus élevé. En variante, le procédé peut optimiser les calculs de sorte qu'il n'est pas nécessaire de tester tous les intervalles pour trouver le meilleur. D'un point de vue mathématique, si un point est dans l'intervalle présentant le rang effectif maximal, alors sa probabilité d'être dans la classe bonne est maximum et inversement si un point est dans l'intervalle complémentaire, sa probabilité d'être mauvais est maximale.

[0050] Le rang et le rang effectif sont avantageusement multipliés par 100 pour une meilleure interprétation. Il varie donc de -100 pour les sous-ensembles de données historiques contenant tous et que les produits mauvais, à 100 pour ceux contenant tous et que les produits bons. La valeur 0 indique que la proportion de bons et de mauvais du sous-ensemble est équivalente à la proportion contenue dans l'historique.

EXEMPLE 1 : application d'une couche de peinture

[0051] Pour illustrer l'invention, un premier exemple simplifié, avec un nombre très faible de données, est présenté. Ce premier exemple concerne la fabrication d'un jouet, en particulier une étape d'application d'une couche de peinture à une certaine température. La pièce est donc chauffée avant ou pendant l'application de la peinture, afin d'améliorer la qualité de finition.

[0052] Des pièces transitent à une vitesse v dans un four à température t afin de fixer une peinture sur la pièce. La vitesse du convoyeur est subie (en fonction d'un processus en amont par exemple) et seule la température du four est ajustable. Pour avoir une finition de peinture optimale, il faut que la pièce reçoive une certaine quantité d'énergie. Si la vitesse est élevée, alors il est nécessaire d'augmenter la valeur de la température. A l'inverse, si la vitesse diminue il est nécessaire de réduire la valeur de la température pour que la quantité totale d'énergie reçue par la pièce reste stable.

[0053] Pour illustrer cet exemple, la quantité d'énergie est égale à la température t divisée par la vitesse v . La quantité d'énergie qui maximise la qualité de la peinture est $t/v = 20$.

[0054] Dans cet exemple, l'objectif consiste à se rapprocher de cet optimal. On peut illustrer un tel objectif de la façon suivante : $\text{Objectif} = 100 / (1 + |20 - (t/v)|)$.

[0055] Ainsi, pour un niveau de qualité maximal à 100, soit l'idéal à atteindre, on observe une dégradation de la qualité (valeurs inférieures à 100) des pièces peintes au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la qualité optimale.

[0056] A titre illustratif, les valeurs d'historique ne comportent que quatre valeurs, soit les quatre dernières pièces ou lots fabriqués. L'appareil numérique de régulation et le procédé de régulation visent à définir les valeurs de consignes à utiliser pour cette fabrication, ou phase de fabrication sans modèle préalable ou dispositif établissant le lien entre qualité, température et vitesse. Les données suivantes sont les données de paramètres opérationnels historiques de la chaîne de fabrication. Les lignes sont triées chronologiquement. On vise une quantité d'énergie reçue par pièce le plus près possible de 20.

n° pièce	Vitesse (m/s)	Temp (°c)	Qté Energie	Niv qual
1	5,2	80	15,4	17,8
2	5,7	85	14,9	16,4
3	4,1	92,5	22,6	27,8
4	4,7	85	18,1	34,3

[0057] Le produit n°5 doit à présent être peint, et le procédé de régulation automatique permet de fournir une valeur de consigne en fonction de la caractéristique opérationnelle à optimiser. Les quatre points de l'historique sont séparés en deux populations autour de la médiane de l'objectif. Puisque l'on veut maximiser l'objectif, les « bonnes » pièces seront celles du groupe avec un fort objectif (les pièces 3 et 4). Les pièces 1 et 2 sont donc considérées dans ce découpage comme étant des « mauvaises » pièces. Avec ce découpage, si l'on considère les températures, on obtient: 80° correspond à une pièce mauvaise, 85° correspond à une mauvaise et une bonne, et 92,5° correspond à une pièce bonne.

[0058] L'intervalle qui contient le plus de données favorables et le moins de données défavorables ou intervalle qui maximise le rang est donc [85° 92,5°]. Son rang est la probabilité d'être dans 85-92,5 en ne considérant que les données historiques bonnes (deux pièces sont dans 85-92,5 sur les deux pièces bonnes) moins la probabilité d'être entre 85-92,5 pour les pièces mauvaises (une seule pièce est entre 80-92,5 sur les deux mauvaises). Le rang est donc de $(2/2 - 1/2) * 100 = 50$. De cet intervalle, la consigne est extraite en prenant par exemple la moyenne : dans l'historique, les mesures suivantes correspondent à la plage du rang: 85, 85, 92,5. La moyenne (87,5°) est ainsi affectée en tant que consigne de réglage de la température pour la pièce 5.

n° pièce	Vitesse (m/s)	Temp (°c)	Qté Energie	Niv qual
1	5,2	80	15,4	17,8
2	5,7	85	14,9	16,4
3	4,1	92,5	22,6	27,8
4	4,7	85	18,1	34,3
5	4,1	87,5	21,3	42,7

[0059] En variante, une valeur autre que la moyenne peut être utilisée, comme par exemple la médiane, le minimum ou encore le maximum selon les cas. Une opération plus complexe peut aussi être menée sur cet intervalle pour obtenir une valeur encore plus ajustée, comme par exemple, choisir la valeur de l'intervalle pour laquelle le ratio de

données favorables est maximal. Puisque dans cet exemple théorique, seules les quatre dernières pièces sont prises en compte, la première pièce est ignorée, et le procédé se poursuit avec les pièces 2, 3, 4 et 5 qui permettent d'obtenir un nouveau découpage, et donc un autre réglage pour la pièce 6 (86,3°).

n° pièce	Vitesse (m/s)	Temp (°c)	Qté Energie	Niv qual
1	5,2	80	13,4	17,8
2	5,7	85	14,9	16,4
3	4,1	92,5	22,6	27,8
4	4,7	85	18,1	34,3
5	4,1	87,5	21,3	42,7
6	4,1	86,3	21,0	48,8

[0060] A chaque itération, les meilleures pièces de l'historique récent sont utilisées pour générer la prochaine valeur de consigne à appliquer en fonctions de ces bonnes pièces. On observe que le niveau de qualité progresse à chaque nouvelle consigne.

n° pièce	Vitesse (m/s)	Temp (°c)	Qté Energie	Niv qual
1	5,2	80	15,4	17,8
2	5,7	85	14,9	16,4
3	4,1	92,5	22,6	27,8
4	4,7	85	18,1	34,3
5	4,1	87,5	21,3	42,7
6	4,1	86,3	21,0	48,8
7	4,2	86,9	20,7	59,2
8	4,2	86,6	20,6	61,8

[0061] Il est entendu que cet exemple est volontairement simplifié à des fins illustratives. En outre, pour ce cas, une modélisation simple, permet d'identifier la température idéale, $t=20.v$. Dès que la vitesse est connue, la température idéale peut être déduite. Mais une telle démarche requière une modélisation du processus de fabrication en cours, ce qui est facile dans cet exemple. En pratique, du fait de la très grande complexité des fabrications industrielles, une telle modélisation n'est pas toujours possible. Lorsqu'elle est possible, elle ne donne que rarement un résultat exact car il y a toujours des facteurs perturbateurs (parfois non mesurés) qui rendent les modélisations imprécises, voire fausses.

[0062] L'appareil numérique de régulation et le procédé de régulation automatique de l'invention permettent de s'affranchir d'un modèle représentant la fabrication. Les facteurs

perturbateurs, qu'ils soient internes ou externes, sont pris en compte de façon indirecte. Par exemple s'il y a une usure de l'isolation du four, la méthode connue qui s'appuie sur une modélisation, ne prend pas en compte la quantité d'énergie perdue, et donc le niveau de qualité des pièces peintes n'est pas optimal, car l'énergie perdue à cause du manque d'isolation n'est pas prise en compte. Le procédé préalablement présenté s'appuie sur un historique incluant des mesures où l'isolation est déjà endommagée, en prenant en compte l'impact sur le niveau de qualité. Les consignes calculées sont donc ajustées automatiquement.

EXEMPLE 2 : Blancheur de papier

[0063] Le second exemple est issu du domaine technique des papeteries. Comme dans toute l'industrie, ce qui est fabriqué (ici du papier) doit respecter des spécifications. La blancheur fait partie des spécifications que les papetiers doivent respecter, cet exemple illustrera le procédé de régulation de cette spécification. Dans une chaîne de production papier, la blancheur est mesurée par une caméra qui dénombre les taches sombres présentes en surface. Une densité de taches est ainsi déterminée. La valeur qui est visée dans cet exemple est 100 : plus la valeur mesurée en fin de procédé est proche de 100, mieux c'est. Ces taches viennent en partie de la composition de la pâte. Pour limiter le nombre de taches il faut qu'elle soit suffisamment bien filtrée. Le paramètre opérationnel nommé "ratio de refus" permet d'agir sur cette filtration. Les taches peuvent également provenir d'un mauvais débit de la pâte. Un paramètre opérationnel lui est également associé.

[0064] Enfin le taux de papier recyclé (%) utilisé dans la pâte est aussi un paramètre important, mais ce paramètre est subi. Il dépend de facteurs externes (économique, disponibilité, etc.). Aucun réglage ne peut donc être réalisé sur ce paramètre pourtant impactant. Il est cependant enregistré dans l'historique de production de façon à ce que les réglages des autres paramètres (ceux opérationnels) puissent être ajustés pour prendre en compte les variations des paramètres subis. Ce processus est appelé contextualisation. Dans cet exemple la densité de taches sombres est modélisée par la fonction suivante : $\text{ratio de refus (\%)} / \text{débit de la pâte (l/min)} + \text{taux de papier recyclé} / 10 - 2$. Cette formule est donnée pour suivre les calculs de l'exemple. Dans une usine véritable, comme mentionné précédemment, la densité de taches est mesurée, non calculée, et le processus physique sous jacent n'est que partiellement connu.

[0065] Dans le tableau suivant, une ligne correspond à une bobine de papier produite. Cela est mis à titre didactique, et toute autre unité de production peut être utilisée à la place. Le tableau suivant affiche les données initiales disponibles concernant la fabrication de papier de blancheur souhaitée 100. Les données des 4 dernières bobines sont présentes.

n° de bobine	ratio de refus (%)	débit (l/min)	ratio recyclage (%)	taux de tache
1	11,20	1 250,00	20,0	113,6
2	11,80	1 220,00	20,0	105,4
3	12,30	1 300,00	20,0	107,7
4	12,40	1 190,00	20,0	98,0

[0066] La bobine n°5 doit à présent être produite, et le procédé de régulation automatique permet de fournir une valeur de consigne en fonction de la caractéristique opérationnelle à optimiser. Les quatre points de l'historique sont séparés en deux populations autour de la médiane du taux de blancheur. Les « bonnes » bobines seront les deux ayant le taux de taches le plus proche de 100 (les bobines 2 et 4). Les bobines 1 et 3 sont donc considérées dans ce découpage comme étant des « mauvaises » bobines. Avec ce découpage, si l'on considère les ratios de refus, on obtient : “ 11.20 correspond à une bobine mauvaise, 11.80 correspond à une bonne, 12.30 correspond à une mauvaise, et 12.40 à une bonne.”

[0067] Le paramètre non réglable ratio recyclage n'est pas utilisable pour séparer les bons des mauvais car il est constant. Aucune contextualisation n'est donc réalisée pour le moment. En ne considérant que le ratio de refus, l'intervalle du rang qui départage le mieux les bobines bonnes des bobines mauvaises est [11.80 ; 12.40]. Dans cet exemple le module utilise la moyenne pour attribuer une valeur. 3 bobines sont comprises dans cet intervalle et leurs ratios de refus sont 11.80, 12.30 et 12.40. La moyenne (12.17) est donc appliquée au paramètre opérationnel de ratio de refus.

[0068] Un processus similaire est opéré pour le second paramètre opérationnel (débit). L'intervalle [1190, 1220] est donc retenu, et la valeur moyenne 1205 est affectée au paramètre opérationnel du débit. Ces affectations sont visibles sur la ligne 5 du tableau suivant. Tous les paramètres opérationnels étant affectés, l'usine peut procéder à la fabrication de la bobine n°5 et le taux de taches obtenu est de 99.

n° de bobine	ratio de refus (%)	débit (l/min)	ratio recyclage (%)	taux de tache
1	11,20	1 250,00	20,0	111,6
2	11,80	1 220,00	20,0	103,4
3	12,30	1 300,00	20,0	105,7
4	12,40	1 190,00	20,0	96,0
5	12,17	1 205,00	20,0	99,0

[0069] Dans cet exemple, un historique de taille 4 est utilisé pour réaliser le pilotage. Ainsi, pour opérer les réglages de la bobine 6, la bobine 1 est ignorée. La bobine 5 par contre est ajoutée à l'historique. En suivant le même processus avec le nouvel historique, la bobine 6 est produite suivant les paramètres affichés dans le tableau :

n° de bobine	ratio de refus (%)	débit (l/min)	ratio recyclage (%)	taux de tache
1	11,20	1 250,00	20,0	111,6
2	11,80	1 220,00	20,0	103,4
3	12,30	1 300,00	20,0	105,7
4	12,40	1 190,00	20,0	96,0
5	12,17	1 205,00	20,0	99,0
6	11,99	1 212,50	20,0	101,1

[0070] Le pilotage continue ainsi de suite et donne lieux aux bobines 7 et 8. Pour illustrer le processus de contextualisation, un changement de taux d'utilisation de papier recyclage intervient à la bobine 8. Les données suivantes sont donc obtenues :

n° de bobine	ratio de refus (%)	débit (l/min)	ratio recyclage (%)	taux de tâche
1	11,20	1 250,00	20,0	111,6
2	11,80	1 220,00	20,0	103,4
3	12,30	1 300,00	20,0	105,7
4	12,40	1 190,00	20,0	96,0
5	12,17	1 205,00	20,0	99,0
6	11,99	1 212,50	20,0	101,1
7	12,08	1 208,75	20,0	100,1
8	12,04	1 210,63	30,0	101,6

[0071] A chaque itération, le taux de taches se rapproche de 100 qui est la valeur optimale de production. Mais la dernière bobine, à cause du taux de recyclage élevé, s'écarte de l'optimal de production.

[0072] A présent la bobine 9 doit être produite, toujours avec un historique de 4 bobines. Les 2 bobines classées comme bonnes sont les 7 et 5.

[0073] Dans ces conditions, l'impact des paramètres non réglables est maintenant plus important : les bobines produites avec un taux de recyclage ≥ 30 sont toutes mauvaises. Avant de poursuivre le calcul des paramètres opérationnels, une contextualisation est donc réalisée : "taux de recyclage ≥ 30 " est ajouté aux conditions de contextualisation.

[0074] Le processus de calcul de paramètres opérationnels reprend donc du début, mais avec un historique différent : l'historique qui correspond au nouveau contexte. Ainsi, les 4 dernières bobines qui ont été produites avec un recyclage supérieur ou égal à 30% constituent le nouvel historique (les numéros de bobines ne correspondent plus: la bobine anciennement 8 correspond à la bobine 4 à présent et les 1, 2, 3 sont issues de données passées et donc n'étaient pas visibles jusqu'alors). Avec ce nouvel historique plus proche de la situation actuelle, le même processus conduit à la production suivante :

n° de bobine	ratio de refus (%)	débit (l/min)	ratio recyclage (%)	taux de tache
1	13,00	1 250,00	35,0	97,7
2	12,00	1 220,00	30,0	102,7
3	12,30	1 200,00	35,0	99,1
4	12,04	1 210,63	30,0	101,6
5	12,17	1 205,00	35,0	100,5
6	12,24	1 202,50	35,0	99,7

[0075] La production s'est donc adaptée à ce changement en se basant sur des données plus proches de la situation présente, et a rapidement modifié les paramètres opérationnels pour contrer le changement d'un paramètre non réglable afin de converger vers son optimum de production : un taux de tache proche de 100.

EXEMPLE 3 : Taux d'humidité résiduelle

[0076] Dans le domaine de la chimie, les colonnes de distillation sont utilisées pour séparer les éléments constituant d'une matière première. La matière première est soumise à une vapeur qui l'échauffe et provoque la gazéification de l'élément recherché. Le processus demande un apport de chaleur qui est délivré sous forme de vapeur. Les colonnes de distillations sont très utilisées dans l'industrie chimique. De ce processus, il en ressort un gaz qui contient principalement le composant recherché par l'industriel. Mais il contient également des impuretés, dont un taux d'humidité résiduelle. Le taux d'humidité résiduelle est à minimiser, mais il n'est pas nécessaire de trop gaspiller d'énergie pour cela. A partir d'un certain seuil, le produit est acceptable. Dans cet exemple le seuil est défini à 1.5%. Si le produit final contient plus de 1.5% la qualité ne sera pas optimale, et s'il en contient moins, de l'énergie aura été gaspillée et donc le coût de production ne sera pas optimal (ni l'impact environnemental). Une valeur autour de 1.5% est donc recherchée.

[0077] Dans cet exemple, le principal paramètre opérationnel impactant le taux d'humidité est le débit de vapeur (T/h) qui est utilisé dans la colonne de distillation. En plus du débit vapeur, un autre paramètre a également un impact sur le processus de distillation : la température extérieure. Ce paramètre n'est bien sûr pas réglable, mais sa mesure, relevée par des capteurs, est enregistrée dans l'historique. Pour pouvoir illustrer le fonctionnement dans un tableau, la formule suivante définit l'impact du débit sur le taux d'humidité : $\text{taux d'humidité} = (\text{débit} \times 4) - 18,5 - \text{température extérieure} / 50$. Tout comme les exemples suivants, un historique de quatre éléments est utilisé. Dans le cas présent, il s'agit d'une production en flux, et donc une ligne du tableau suivant ne représente pas un élément réel, mais plutôt un échantillon de production. Une mesure est réalisée à intervalles réguliers, et la valeur de l'échantillon mesuré alimente l'historique. L'historique de cet exemple est le suivant :

n° d'échantillon	débit (T/h)	température extérieure (°)	taux résiduel (%)
1	5,2	0	2,3
2	5,5	2	3,5
3	4,9	4	1,0
4	6,00	2	5,5

[0078] Avant que la mesure de l'échantillon 5 n'intervienne, le module de régulation a la possibilité d'agir sur l'usine en modifiant le paramètre opérationnel de débit. Pour cela,

comme dans les exemples précédents, l'historique est utilisé afin d'obtenir un réglage plus adéquat, le but étant de se rapprocher d'un taux résiduel d'humidité de 1.5%. Les 4 points sont séparés en deux groupes : les deux points les plus proches d'un taux de 1.5% ensemble (ils constituent les bons points) et les autres (les mauvais points).

[0079] Les points 1 et 3 sont donc les deux points bons. Le module en déduit l'intervalle du rang qui maximise la séparation des bons des mauvais pour les deux paramètres : débit [4.9 ; 5.2] et température extérieure [0; 0]. L'intervalle de débit permet d'isoler deux échantillons bons. (les échantillons 1 et 3 sont bons, et sont dans l'intervalle de débit [4.9 ; 5.2]) alors que l'intervalle de température ne permet d'isoler qu'un seul échantillon (seul l'échantillon 1 est lié à une température extérieure de 0°). Le paramètre de débit a donc un rang supérieur. Etant un paramètre opérationnel, il sera utilisé pour réaliser le réglage. Ici encore, c'est la moyenne qui sera utilisée pour extraire la valeur de l'intervalle. Seuls deux échantillons se trouvent dans l'intervalle, et leur moyenne est 5.05. Le paramètre opérationnel de débit est donc fixé à 5.05. La production en sera impactée, et l'échantillon (n°5) qui en résulte est affiché dans le tableau suivant :

n° d'échantillon	débit (T/h)	température extérieure (°)	taux résiduel (%)
1	5,2	0	2,3
2	5,5	2	3,5
3	4,9	4	1,0
4	6,00	2	5,5
5	5,05	0	1,7

[0080] Le premier échantillon est ensuite remplacé par le dernier, puis un nouveau découpage bon/mauvais est réalisé pour préparer l'échantillon 6. Les points bons sont alors les n°3 et 5. L'intervalle du rang séparant le mieux porte toujours sur le paramètre de débit, et il s'agit de [4.9 ; 5.05]. Il ne contient que deux points, et sa moyenne (4.98) est donc affectée au paramètre opérationnel de débit. Comme le montre le tableau suivant, cela rapproche encore davantage du taux résiduel de 1.5 :

n° d'échantillon	débit (T/h)	température extérieure (°)	taux résiduel (%)
1	5,2	0	2,3
2	5,5	2	3,5
3	4,9	4	1,0
4	6,00	2	5,5
5	5,05	0	1,7

[0081] Le procédé peut alors itérer en utilisant le nouvel historique. La production suivante est obtenue :

n° d'échantillon	débit (T/h)	température extérieure (°)	taux résiduel (%)
1	5,2	0	2,3
2	5,5	2	3,5
3	4,9	4	1,0
4	6,00	2	5,5
5	5,05	0	1,7
6	4,98	2	1,4
7	5,01	0	1,6
8	4,99	0	1,5

[0082] Sur cet exemple encore nous pouvons voir comment le procédé arrive à emmener une production sur un objectif défini en agissant sur les paramètres opérationnels : ici le taux résiduel de 1.5% est rapidement obtenu. Et cela sans avoir recours à une modélisation. Seul le traitement de l'historique est utilisé.

[0083] A présent, pour illustrer le mécanisme de contextualisation automatique, nous supposons que le processus de fabrication de ce type de produit s'arrête (pour fabriquer un autre produit), puis reprend quelques mois plus tard alors que les conditions extérieures ont changées (voir échantillon 9 à 20°). La production obtenue devient la suivante :

n° d'échantillon	débit (T/h)	température extérieure (°)	taux résiduel (%)
1	5,2	0	2,3
2	5,5	2	3,5
3	4,9	4	1,0
4	6	2	5,5
5	5,05	0	1,7
6	4,98	2	1,4
7	5,01	0	1,6
8	4,99	0	1,5
9	4,99	20	1,1

[0084] Comme pour les itérations précédentes, les 4 derniers échantillons sont répartis en deux groupes, les bons étant ceux avec le taux résiduel le plus proche de 1,5. Seul le dernier échantillon (9) est donc considéré comme mauvais puisque c'est celui qui a le taux résiduel le plus éloigné (6 et 7 sont équidistants et 8 est parfait). Dans ces

conditions, la meilleure plage de rang pour débit est [4.98 ; 4.98], mais cette plage ne contient qu'un seul des 3 échantillons bons. Alors que la meilleure plage de rang pour le paramètre température est [0 ; 2] et lui contient tous les échantillons bons. Le paramètre température est donc meilleur pour séparer les bons des mauvais : son rang est supérieur et il est donc retenu. Mais comme il s'agit d'un paramètre non réglable, il est par définition impossible d'agir dessus, le contexte "température ≥ 20 " est donc créé. Puis le processus est repris depuis le début en ne prenant en compte que les échantillons prélevés avec des températures extérieures supérieures à 20°, quitte à aller chercher des échantillons plus anciens. Le nouvel historique pourrait être alors celui-ci :

n° d'échantillon	débit (T/h)	température extérieure (°)	taux résiduel (%)
1	5,46	25	2,8
2	5,48	20	3,0
3	4,75	27	0,0
4	4,99	20	1,1

[0085] Avec cet historique, la population est divisée en deux en prenant comme bon, les échantillons 4 et 1 qui sont plus proches de 1.5. Et la plage idéale de rang trouvée porte maintenant sur le débit [4,99 ; 5,46] qui contient 2 échantillons bons, et aucun mauvais. La moyenne est donc prise pour consigne : 5,23. Le processus itère et donnera, selon la température extérieure, le résultat suivant :

n° d'échantillon	débit (T/h)	température extérieure (°)	taux résiduel (%)
1	5,46	25	2,8
2	5,48	20	3,0
3	4,75	27	0,0
4	4,99	20	1,1
	5,23	22	2,0
	5,11	21	1,5

[0086] Dans cet exemple, le taux résiduel de 1,5% est atteint en seulement quelques itérations, alors même que le contexte vient de changer. A présent, le contexte "température ≥ 20 " est identifié. Il est donc mémorisé de sorte que dès que le temps extérieur changera, le contexte changera également, et l'historique utilisé correspondra à la météo de production.

Numéros de référence employés sur les figures

1	Appareil numérique de régulation (ou pilotage automatique)
2	Module de spécifications technique produit
3	Module d'objectif de performance industrielle
4	Module de réglage
5	Module de commande d'élément de machine
6	Microprocesseur
7	Instructions de mise en œuvre
8	Module de données historiques
9	
10	Spécifications techniques de produits à fabriquer
11	Paramètres de performance du processus industriel
12	Données d'objectif de performance
13	Valeur de réglage
14	Données historiques (ajustement, performance, produit)
20	Processus industriel
21	Élément de machine
22	Capteur de paramètre opérationnel
23	Capteur de paramètre non réglable
30	Produit à fabriquer

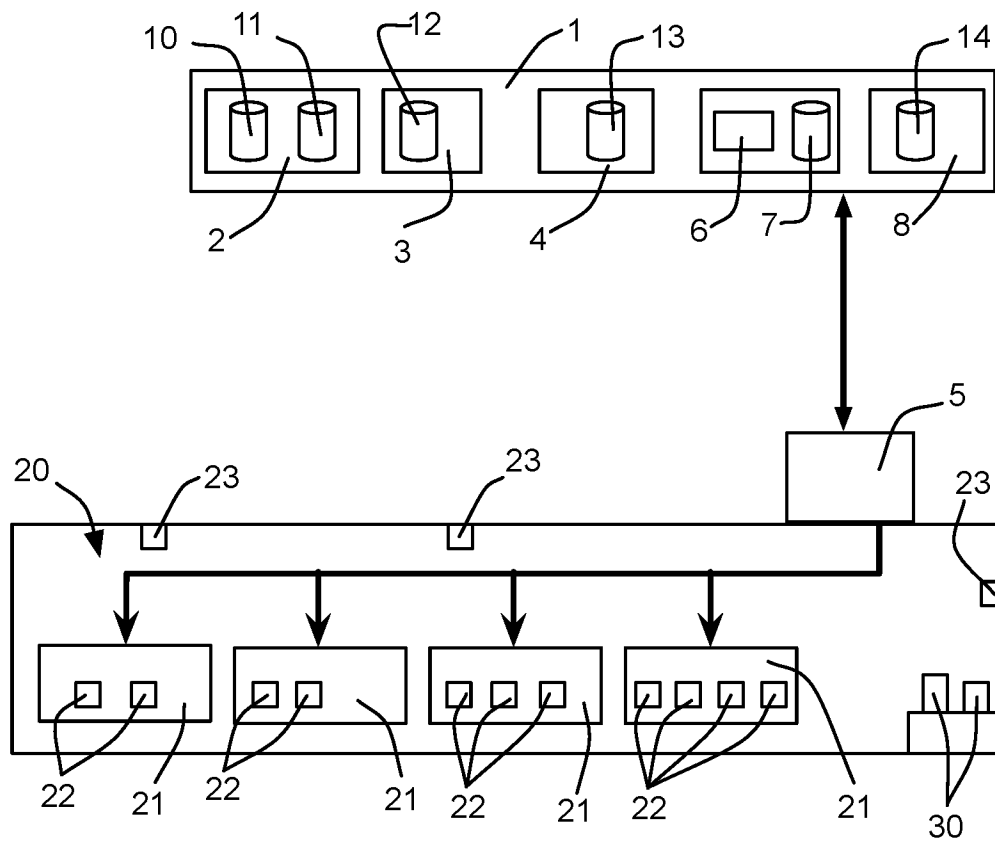
REVENDICATIONS

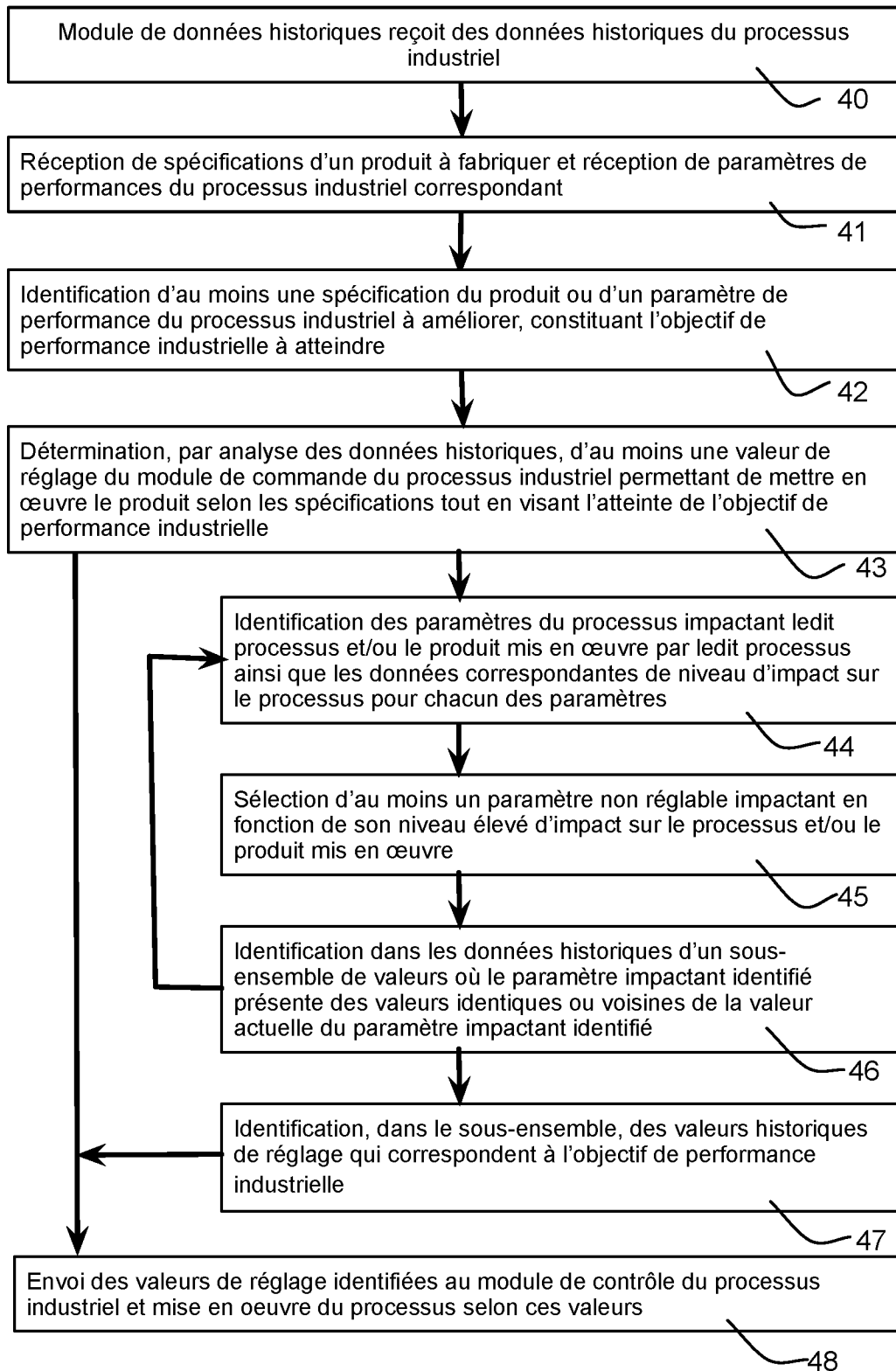
1. Procédé d'ajustement de paramètres de processus dans un processus industriel d'une usine, ledit procédé étant contrôlé par un module (5) de commande, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- i) une étape (40) d'obtention de données historiques (14), à l'aide d'un module (8) de données historiques en relation avec une pluralité de sources de données (22, 23) en relation avec le processus industriel, lesdites données historiques (14) comprenant des données d'ajustement de paramètres, des données de paramètres de performances du processus et des données de spécifications du produit (30) issu du processus industriel ;
- ii) une étape (41) de réception de spécifications (10) d'un produit à fabriquer à l'aide du processus industriel et de réception de paramètres (11) de performances du processus industriel correspondant ;
- iii) une étape (42) d'identification d'au moins une spécification du produit ou d'un paramètre de performance du processus industriel à améliorer, constituant l'objectif (12) de performance industrielle à atteindre ;
- iv) une étape (43) de détermination, par analyse des données historiques effectuées par un module (4) de réglage, d'au moins une valeur de réglage (13) du module (5) de commande du processus industriel permettant de fabriquer le produit (30) selon les spécifications (10) tout en visant l'atteinte de l'objectif (12) de performance industrielle ;
- v) l'étape d'analyse des données historiques comportant une phase (44) d'identification des paramètres de performance du processus impactant ledit processus et/ou le produit mis en œuvre par ledit processus ainsi que les données correspondantes de niveau d'impact sur le processus pour chacun des paramètres ;
- vi) une étape (45) de sélection d'au moins un paramètre impactant en fonction de son niveau élevé d'impact sur le processus et/ou le produit mis en œuvre ;
- vii) une étape (46) d'identification dans les données historiques d'un sous-ensemble de valeurs où le paramètre impactant identifié présente des valeurs identiques ou voisines de la valeur actuelle du paramètre impactant identifié ;
- viii) une étape (47) d'identification, dans le sous-ensemble, des valeurs historiques de réglage qui correspondent à l'objectif de performance industrielle ;
- ix) une étape (48) d'envoi des valeurs de réglage (13) identifiées au module (5) de contrôle du processus industriel et mise en œuvre du processus selon ces valeurs.

2. Procédé d'ajustement de paramètres selon la revendication 1, dans lequel les nouvelles données issues du processus sont transmises à la base de données historiques pour de futures itérations.

3. Procédé d'ajustement de paramètres selon la revendication 1, dans lequel au moins une donnée de spécifications de produits est modifiée et une nouvelle itération est reprise à l'étape ii.
4. Procédé d'ajustement de paramètres selon la revendication 1, dans lequel au moins une valeur de paramètre de performance du processus industriel est modifiée et une nouvelle itération est reprise à l'étape ii.
5. Procédé d'ajustement de paramètres selon la revendication 1, dans lequel certains paramètres de performance du processus correspondent à des paramètres réglables par l'envoi d'une valeur de réglage au module de commande.
6. Procédé d'ajustement de paramètres selon la revendication 1, dans lequel certains paramètres de performance du processus ne comportent pas de paramètres réglables correspondants.
7. Procédé d'ajustement de paramètres selon la revendication 1, dans lequel l'étape viii est réalisée en se basant sur les valeurs maximisant le rang.
8. Procédé d'ajustement de paramètres selon la revendication 1, dans lequel l'étape viii est réalisée en se basant sur les valeurs maximisant le rang effectif.

**Figure 1**



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/IB2019/060058

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G05B 23/02(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G05B Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2004267399 A1 (FUNK MERRITT [US]) 30 December 2004 (2004-12-30) paragraph [0098]; figures 1,3 paragraph [0097] paragraph [0010] - paragraph [0012] paragraph [0015] paragraph [0021] - paragraph [0024] paragraph [0027] paragraph [0036] - paragraph [0044] paragraph [0091] - paragraph [0096]	1-8
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 January 2020		Date of mailing of the international search report 06 February 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Fulcheri, Alessandro Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/IB2019/060058

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2042958 A2 (ROCKWELL AUTOMATION TECH INC [US]) 01 April 2009 (2009-04-01) paragraph [0025]; figures 1-3,7 paragraph [0001] paragraph [0002] paragraph [0006] paragraph [0008] - paragraph [0009] paragraph [0010] - paragraph [0011] paragraph [0034] paragraph [0035] - paragraph [0036] paragraph [0039]	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/IB2019/060058

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2004267399	A1	30 December 2004	CN	1816905	A	09 August 2006
				JP	2007521652	A	02 August 2007
				KR	20060026902	A	24 March 2006
				TW	200500920	A	01 January 2005
				US	2004267399	A1	30 December 2004
				WO	2005006411	A2	20 January 2005
EP	2042958	A2	01 April 2009	CN	101398686	A	01 April 2009
				EP	2042958	A2	01 April 2009
				US	2009089231	A1	02 April 2009

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/IB2019/060058

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G05B23/02 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G05B		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2004/267399 A1 (FUNK MERRITT [US]) 30 décembre 2004 (2004-12-30) alinéa [0098]; figures 1,3 alinéa [0097] alinéa [0010] - alinéa [0012] alinéa [0015] alinéa [0021] - alinéa [0024] alinéa [0027] alinéa [0036] - alinéa [0044] alinéa [0091] - alinéa [0096] ----- -/--	1-8
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
29 janvier 2020		06/02/2020
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale		Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fulcheri, Alessandro

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 2 042 958 A2 (ROCKWELL AUTOMATION TECH INC [US]) 1 avril 2009 (2009-04-01) alinéa [0025]; figures 1-3,7 alinéa [0001] alinéa [0002] alinéa [0006] alinéa [0008] - alinéa [0009] alinéa [0010] - alinéa [0011] alinéa [0034] alinéa [0035] - alinéa [0036] alinéa [0039] -----	1-8

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/IB2019/060058

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2004267399	A1	30-12-2004	CN 1816905 A	09-08-2006
			JP 2007521652 A	02-08-2007
			KR 20060026902 A	24-03-2006
			TW 200500920 A	01-01-2005
			US 2004267399 A1	30-12-2004
			WO 2005006411 A2	20-01-2005

EP 2042958	A2	01-04-2009	CN 101398686 A	01-04-2009
			EP 2042958 A2	01-04-2009
			US 2009089231 A1	02-04-2009
