

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①1 N° de publication : **3 132 777**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **22 01228**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **G 05 D 1/00 (2024.01), G 01 C 5/00**

⑫

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤4 Système électronique d'assistance à la navigation d'un aéronef, procédé et programme d'ordinateur associés.

②2 Date de dépôt : 11.02.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 18.08.23 Bulletin 23/33.

④5 Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 13.12.24 Bulletin 24/50.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *THALES Société anonyme* — FR.

⑦2 Inventeur(s) : *HOLLE Jean-Etienne, LAURENT  
Eric, LAFORGE Laurent, BARBEY David et  
RAKOTOARISOA Erick.*

⑦3 Titulaire(s) : *THALES Société anonyme.*

⑦4 Mandataire(s) : *Lavoix.*

**FR 3 132 777 - B1**



## Description

### **Titre de l'invention : Système électronique d'assistance à la navigation d'un aéronef, procédé et programme d'ordinateur associés**

- [0001] La présente invention concerne un système électronique d'assistance à la navigation d'un aéronef.
- [0002] L'invention concerne également un procédé d'assistance à la navigation d'un aéronef, mis en œuvre par un tel système électronique d'assistance.
- [0003] L'invention concerne également un programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre un tel procédé d'assistance.
- [0004] L'invention concerne le domaine des bases de données terrain et les systèmes d'assistance à la navigation d'aéronef. Par base de données terrain, on entend ici une collection de données représentatives de caractéristiques physiques d'un terrain, avant leur compilation en un ensemble de données lisible par un processeur de calcul. Les systèmes d'assistance à la navigation d'aéronef sont par exemple embarqués dans un aéronef et fournissent des informations d'assistance à la navigation à un utilisateur de l'aéronef ou à un système de contrôle de l'aéronef. Les systèmes d'assistance à la navigation sont en variante utilisés hors d'un aéronef. Les systèmes d'assistance à la navigation génèrent alors par exemple des informations destinées à être chargées ou transmises à un aéronef, afin d'assister un utilisateur, ou un ordinateur de bord, à la navigation de l'aéronef.
- [0005] Les bases de données terrain correspondent généralement à une zone d'un terrain susceptible d'être survolée par l'aéronef. De telles bases de données comprennent des données d'élévation du terrain qui sont utilisées dans l'assistance à la navigation d'aéronefs. Une connaissance de l'élévation du terrain est essentielle pour la navigation de l'aéronef, en particulier lorsque le pilotage de l'aéronef est autonome.
- [0006] Afin de mieux connaître le degré de confiance que l'on peut avoir en les élévations d'une base de donnée terrain, il est connu de caractériser les bases de données terrain par un indice de confiance en un niveau de cohérence. Le niveau de cohérence correspond par exemple à un écart entre l'élévation en un point ou position d'une base de données avec l'élévation en le même point ou position d'une autre base de données. Le niveau de cohérence traduit ainsi une précision verticale via la comparaison des élévations de deux bases de données terrain pour une même position. L'indice de confiance caractérise alors par exemple la probabilité que l'écart d'élévation entre les bases de données utilisées pour évaluer la cohérence soit inférieur à un niveau de cohérence donné, c'est-à-dire un écart d'élévation donné.

- [0007] On connaît une base de données terrain fondée sur le modèle SRTM (de l'anglais *Shuttle Radar Topography Mission*), développé à la fin des années 90. On connaît aussi des modèles plus récents, tels que le modèle NASADEM (de l'anglais *NASA Digital Elevation Model*), le modèle ASTER GDEM (de l'anglais *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model*), le modèle ALOS (de l'anglais *Advanced Land Observing Satellite*) ou le modèle ArcticDEM (de l'anglais *Arctic Digital Elevation Model*). La valeur du niveau de cohérence est généralement plus faible pour un indice de confiance donné dans des modèles récents que dans des modèles plus anciens.
- [0008] Il est en outre connu d'utiliser les valeurs d'indice de confiance et de niveau de cohérence des bases de données terrain pour l'assistance à la navigation d'aéronef. Les normes RTCA DO-276 rev C et EUROCAE ED-98 rev C définissent par exemple des indices de confiance en un niveau de cohérence à respecter.
- [0009] A titre d'exemple, il peut être exigé qu'un indice de confiance de 95% en un niveau de cohérence de 30m soit vérifié pour que les données d'élévation d'une base de données terrain puissent être utilisées pour la navigation dans une zone aéroportuaire.
- [0010] De même, il peut être exigé qu'un indice de confiance de 80% en un niveau de cohérence de 80m soit vérifié pour que les données d'élévation d'une base de données terrain puissent être utilisées pour la navigation hors de zones aéroportuaires.
- [0011] Les systèmes électronique d'assistance à la navigation d'aéronefs actuels, pour lesquels la navigation repose sur un indice de confiance en un niveau de cohérence pour l'ensemble d'une base de données ne donnent néanmoins pas entière satisfaction.
- [0012] En effet, même si de tels système assistent à la navigation via des valeurs caractérisant une base de données dans son ensemble, ces systèmes ne permettent pas de prendre en compte d'éventuelles erreurs locales du modèle. Les données transitant par de tels systèmes ne peuvent alors par exemple pas être utilisées pour assister activement à l'élaboration d'une trajectoire en générant une donnée d'assistance à la navigation d'un aéronef et peuvent généralement seulement être utilisées pour vérifier une telle trajectoire déjà élaborée.
- [0013] Un des buts de l'invention est alors de proposer un système permettant de générer une donnée d'assistance à la navigation de l'aéronef prenant en compte d'éventuelles erreurs d'élévation locales d'une base de données terrain.
- [0014] A cet effet, l'invention a pour objet un système électronique d'assistance à la navigation d'un aéronef, comprenant :
- [0015] - un module d'acquisition configuré pour acquérir une pluralité de bases sources de données terrain, chaque base source correspondant à une zone d'un terrain susceptible d'être survolée par l'aéronef, découpée selon un maillage en une pluralité de cellules, chacune correspondant à un secteur de la zone du terrain ; chaque base source

- contenant, pour chaque cellule, une élévation,
- [0016] - un module de transposition configuré pour transposer chaque base source en une base transposée respective de données terrain, chaque base transposée correspondant à ladite zone du terrain, découpée selon un maillage de référence en une pluralité de cellules transposées, le maillage de référence étant commun à toutes les bases transposées, chaque base transposée incluant, pour chaque cellule transposée, une élévation transposée,
- [0017] - un module d'évaluation configuré pour évaluer un niveau de cohérence local pour au moins une cellule transposée d'une base transposée respective, en fonction de la comparaison de l'élévation transposée de ladite cellule avec l'élévation transposée de la cellule transposée correspondante d'au moins une autre base transposée, et
- [0018] - un module d'assistance configuré pour déterminer une donnée d'assistance à la navigation de l'aéronef, en fonction du niveau de cohérence local évalué pour ladite au moins une cellule transposée.
- [0019] Un tel système électronique dans lequel la donnée d'assistance à la navigation est calculée en fonction du niveau de cohérence local évalué pour au moins une cellule transposée permet d'obtenir une donnée de navigation prenant en compte d'éventuelles erreurs locales des bases sources utilisées pour générer la donnée d'assistance.
- [0020] Un tel système électronique permet alors de mieux répondre aux exigences propres aux bases de données terrain utilisées dans le domaine de l'aéronautique et notamment aux exigences du niveau d'assurance DPAL 1 (de l'anglais « *Data Process Assurance Level 1* ») défini dans la norme RTCA DO-200B / EUROCAE ED-76A (norme intitulée en anglais « *Standards for Processing Aeronautical Data* ») ainsi qu'aux exigences de la norme FAA AC20-153 (norme intitulée en anglais « *Acceptance of Aeronautical Data Processes and Associated Databases* »).
- [0021] Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le système électronique d'assistance à la navigation d'un aéronef comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :
- [0022] - le module d'évaluation est configuré pour évaluer le niveau de cohérence local en fonction du plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée de ladite cellule et l'élévation transposée de la cellule transposée correspondante de chaque autre base transposée ;
- [0023] - le niveau de cohérence local est choisi parmi un niveau de cohérence élevé, un niveau de cohérence moyen et un niveau de cohérence faible le niveau de cohérence local évalué étant :
- un niveau de cohérence élevé si le plus petit écart d'élévation est inférieur ou égal à 15m ;

- un niveau de cohérence moyen si le plus petit écart d'élévation est supérieur à 15m et inférieur ou égal à 30m ;
  - un niveau de cohérence faible si le plus petit écart d'élévation est supérieur à 30m et inférieur ou égal à 100m ;
- [0024] - chaque base source contient en outre, pour chaque cellule, une métadonnée associée à l'élévation, chaque base transposée incluant, pour chaque cellule transposée, une métadonnée transposée, le module d'évaluation étant alors configuré pour évaluer le niveau de cohérence local pour chaque cellule transposée d'une base transposée respective, en fonction de la métadonnée transposée de ladite cellule et de la métadonnée transposée de la cellule correspondante de chaque autre base transposée ;
- [0025] - la métadonnée est indicative d'une élévation mesurée ou d'une élévation prédéfinie, le module d'évaluation étant alors configuré pour évaluer le niveau de cohérence local en fonction seulement de la comparaison d'élévations de cellules transposées dont la métadonnée est indicative d'une élévation mesurée ;
- [0026] - le système comprend :
- [0027] - un module de segmentation configuré pour segmenter la zone du terrain correspondant à au moins l'une des bases transposées en une pluralité de zones d'intérêt, chaque zone d'intérêt comprenant une pluralité de cellules transposées adjacentes ;
- [0028] le module d'assistance étant configuré pour déterminer, pour la zone d'intérêt, un indice de confiance en un niveau de cohérence donné, l'indice de confiance formant la donnée d'assistance et étant déterminé en fonction du niveau de cohérence local de chaque cellule transposée de la zone d'intérêt ;
- [0029] - l'indice de confiance en un niveau de cohérence donné est déterminé en fonction de la proportion, sur la zone d'intérêt, de cellules transposées dont le niveau de cohérence local est supérieur ou égal audit niveau de cohérence donné ;
- [0030] - le système comprend :
- [0031] - une interface utilisateur configurée pour recevoir, de la part d'un utilisateur, un niveau de cohérence cible et un indice de confiance limite en ledit niveau de cohérence cible; et
- [0032] - un module de validation configuré pour :
- [0033] + valider une zone d'intérêt si l'indice de confiance déterminé en le niveau de cohérence cible est supérieur ou égal à l'indice de confiance limite ;
- [0034] + rejeter une zone d'intérêt si l'indice de confiance déterminé en le niveau de cohérence cible est inférieur à l'indice de confiance limite; et
- [0035] - un module de commande, configuré pour :
- [0036] + commander un affichage d'un état validé si la zone d'intérêt est validée par le module de validation, ou bien un état rejeté si la zone d'intérêt est rejetée par le module de validation (22) ; et/ou

- [0037] + commander la génération d'une trajectoire d'aéronef en dehors de la ou des zone(s) d'intérêt rejetée(s) ; et
- [0038] - le module d'assistance est configuré pour déterminer une base cible de données terrain, correspondant à la zone du terrain, découpée selon le maillage de référence en une pluralité de cellules cible ; la base cible incluant, pour chaque cellule cible, une élévation cible formant la donnée d'assistance, le module d'assistance étant alors configuré pour déterminer l'élévation cible de la cellule cible en fonction de l'élévation transposée d'au moins deux cellules transposées correspondantes, dont le niveau de cohérence local est supérieur au niveau de cohérence local des autres cellules transposées correspondantes.
- [0039] L'invention a en outre pour objet un procédé d'assistance à la navigation d'un aéronef, mis en œuvre par un système électronique d'assistance à la navigation d'un aéronef, le procédé comprenant les étapes suivantes:
- [0040] - acquisition d'une pluralité de bases sources de données terrain, chaque base source correspondant à une zone d'un terrain susceptible d'être survolée par l'aéronef, découpée selon un maillage en une pluralité de cellules, chacune correspondant à un secteur de la zone du terrain ; chaque base source contenant, pour chaque cellule, une élévation,
- [0041] - transposition de chaque base source en une base transposée respective de données terrain, chaque base transposée correspondant à ladite zone du terrain, découpée selon un maillage de référence en une pluralité de cellules transposées, le maillage de référence étant commun à toutes les bases transposées, chaque base transposée incluant, pour chaque cellule transposée, une élévation transposée,
- [0042] - évaluation d'un niveau de cohérence local pour au moins une cellule transposée d'une base transposée respective, en fonction de la comparaison de l'élévation transposée de ladite cellule avec l'élévation transposée de la cellule transposée correspondante d'au moins une autre base transposée, et
- [0043] - détermination d'une donnée d'assistance à la navigation de l'aéronef, en fonction du niveau de cohérence local évalué d'au moins une cellule transposée de l'une des bases transposées.
- [0044] L'invention a également pour objet un programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre un procédé d'assistance à la navigation d'un aéronef, tel que défini ci-dessus.
- [0045] Ces caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :
- [0046] [Fig.1] la [Fig.1] est une représentation schématique d'un système électronique d'assistance à la navigation d'un aéronef selon un premier mode de réalisation de

l'invention ;

- [0047] [Fig.2] la [Fig.2] est vue analogue à celle de la [Fig.1] selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- [0048] [Fig.3] la [Fig.3] est un organigramme d'un procédé d'assistance à la navigation d'un aéronef mis en œuvre par le système électronique de la figures 1 ou celui de la [Fig.2] ;
- [0049] [Fig.4] la [Fig.4] est une représentation schématique de deux maillages découpant une zone correspondante d'un terrain, avant et après une transposition mise en œuvre par l'un des systèmes des figures 1 et 2 ;
- [0050] [Fig.5] la [Fig.5] est une représentation d'un affichage commandé par le système de la [Fig.1] ; et
- [0051] [Fig.6] la [Fig.6] est une représentation schématique du maillage de référence découpant une zone correspondante d'un terrain, pour une pluralité de bases sources, et une représentation du maillage de référence découpant la zone correspondante du terrain pour une base cible déterminée par le système de la [Fig.2].
- [0052] Dans la suite de la description, l'expression « sensiblement égal(e) à » définit une relation d'égalité à +/- 10%, de préférence à +/- 5%.
- [0053] Sur les figures 1 et 2, un système 10 d'assistance à la navigation d'un aéronef comprend un module d'acquisition 12, un module de transposition 14, un module d'évaluation 16 et un module d'assistance 18.
- [0054] Dans le mode de réalisation de la [Fig.1], le système d'assistance 10 comprend en outre un module de segmentation 20, un module de validation 22, un module de commande 24 et une interface utilisateur 26.
- [0055] Le système d'assistance 10 est par exemple embarqué à bord de l'aéronef dont le système 10 assiste la navigation. En variante, le système d'assistance 10 est installé hors de l'aéronef dont le système 10 assiste la navigation. En variante encore, et comme cela sera exposé par la suite, une partie du système 10, par exemple l'interface utilisateur 26, le module de validation 22 et le module de commande 24, est embarquée dans l'aéronef, le reste du système 10 étant installé hors de l'aéronef.
- [0056] L'aéronef est par exemple un avion. En variante, l'aéronef est un hélicoptère, ou encore un drone pilotable à distance par un pilote ou un drone autonome.
- [0057] Le module d'acquisition 12 est configuré pour acquérir une pluralité de bases sources 28 de données terrain, appelées par la suite bases sources 28. Le module d'acquisition 12 est en d'autres termes configuré pour acquérir les données contenues dans la pluralité de bases sources 28.
- [0058] Comme visible sur la [Fig.4], chaque base source 28 correspond à une zone 30 d'un terrain susceptible d'être survolée par l'aéronef, découpée selon un maillage en une pluralité de cellules 32, chacune correspondant à un secteur de la zone 30 du terrain.
- [0059] Les cellules 32 sont par exemple carrées. Une résolution de chaque base de données

correspond par exemple à la longueur d'un côté d'une cellule. La résolution est par exemple comprise entre 90m et 15m.

- [0060] Chaque base source 28 est par exemple une base de données terrain de la même zone 30 du terrain, les bases sources 28 étant alors distinctes l'une de l'autre tout en correspondant à la même zone 30 du terrain. Par exemple, une première base source est une base NASADEM, une deuxième base source est une base ASTER GDEM et une troisième base source est une base ALOS.
- [0061] La résolution de chacune des première, deuxième et troisième bases est par exemple sensiblement égale à 30m si la zone 30 du terrain est située au niveau de l'équateur.
- [0062] Pour une base source 28 du type ALOS, le terrain est découpé selon un maillage tel qu'une zone 30 de terrain s'étendant à la surface terrestre sur une région de 1° de longitude par 1° de latitude est découpée en 3600 cellules par 3600 cellules.
- [0063] Pour une base source 28 du type ASTER GDEM, le terrain est découpé selon un maillage tel qu'une zone 30 de terrain s'étendant à la surface terrestre sur une région de 1° de longitude par 1° de latitude est découpée en 3601 cellules par 3601 cellules.
- [0064] Pour une base source 28 du type NASADEM, le terrain est découpé selon un maillage tel qu'une zone 30 de terrain s'étendant à la surface terrestre sur une région de 1° de longitude par 1° de latitude est découpée en 3601 cellules par 3601 cellules.
- [0065] Chaque base source 28 contient, pour chaque cellule 32, une élévation ELV. Chaque base source 28 comprend en outre de préférence, pour chaque cellule, une métadonnée MD associée à l'élévation ELV.
- [0066] L'élévation ELV pour une cellule 32 correspond à une hauteur du terrain à l'intérieur de la cellule 32. L'élévation ELV correspond par exemple à une valeur de référence d'une hauteur du terrain par rapport à une altitude de référence, typiquement le niveau moyen de la mer, également noté MSL (de l'anglais *Mean Sea Level*). Chaque base source comprend donc par exemple une élévation ELV par cellule 32.
- [0067] La métadonnée MD correspondant à l'élévation ELV traduit une origine de l'élévation ELV dans la base source 28. La métadonnée MD est en particulier indicative d'une élévation mesurée ou d'une élévation prédéfinie.
- [0068] Une métadonnée MD indicative d'une élévation mesurée est une métadonnée associée à une élévation ELV ayant été mesurée lors de l'élaboration de la base source 28. En d'autres termes, une métadonnée MD indicative d'une élévation mesurée indique que l'élévation ELV à laquelle la métadonnée MD correspond est une élévation pouvant être qualifiée de « authentique » pour la base source 28, cette élévation ELV provenant de mesures propres à la base source 28. Ainsi, pour une base source 28 donnée, une métadonnée MD indicative d'une élévation mesurée indique que l'élévation ELV à laquelle la métadonnée MD correspond est une élévation indépendante de l'élévation d'autres bases sources 28, c'est-à-dire qu'une telle élévation ne

provient pas d'une autre base source 28. La métadonnée MD caractérise ainsi, lorsqu'elle est indicative d'une élévation mesurée, une indépendance locale de la base source 28 vis-à-vis d'autres bases sources 28.

- [0069] Par opposition, une métadonnée MD indicative d'une élévation prédéfinie est une métadonnée associée à une élévation ELV n'ayant pas été mesurée lors de l'élaboration de la base source 28. En d'autres termes, une métadonnée MD indicative d'une élévation prédéfinie indique que l'élévation ELV à laquelle la métadonnée MD correspond est une élévation ELV pouvant être qualifiée de « non authentique » pour la base source 28, cette élévation ELV provenant de mesures qui ne sont pas spécifiques à la base source 28. Ainsi, pour une base source 28 donnée, une métadonnée MD indicative d'une élévation prédéfinie indique que l'élévation ELV à laquelle la métadonnée MD correspond est une élévation dépendante de l'élévation d'une autre base source 28, c'est-à-dire qu'une telle élévation provient d'une autre base source 28. La métadonnée MD caractérise ainsi, lorsqu'elle est indicative d'une élévation prédéfinie, une dépendance locale de la base source 28 vis-à-vis d'autres bases sources 28.
- [0070] Une métadonnée MD indicative d'une élévation prédéfinie est par exemple associée à une élévation ELV mesurée lors de l'élaboration d'une base source 28 qui n'est pas la base source 28 contenant ladite élévation ELV. La présence d'une telle élévation dans une base source, et donc d'une métadonnée indicative d'une élévation prédéfinie, s'explique typiquement par un problème de mesure d'élévation ELV pour la cellule 32 lors de l'élaboration de la base source 28 (par exemple en raison d'une météorologie inappropriée à la mesure), l'élévation ELV étant alors remplacée par une élévation prédéfinie provenant d'une autre base source 28.
- [0071] Le module de transposition 14 est configuré pour transposer chaque base source 28 en une base transposée 34, comme illustré schématiquement sur la [Fig.4],
- [0072] Chaque base transposée 34 correspond à la zone 30 du terrain, découpée selon un maillage de référence en une pluralité de cellules transposées 36.
- [0073] Comme illustré sur la [Fig.4], le maillage de référence est commun à toutes les bases transposées 34. Ainsi, deux bases source 28 correspondant à une zone découpée selon un maillage différent, correspondent, une fois transposées en deux bases transposées 34, à la même zone découpée selon le maillage de référence qui est commun à ces bases transposées 34.
- [0074] Le maillage de référence est par exemple choisi de telle sorte qu'il corresponde au maillage le moins fin selon lequel le terrain est découpé, pour la pluralité des bases sources 28. En d'autres termes, dans cet exemple, les cellules transposées 36 découpant le terrain pour chaque base transposée 34 ont la dimension des cellules les plus grandes parmi les cellules découpant le terrain pour chaque base source 28.
- [0075] Dans un exemple particulier, une zone 30 de terrain s'étendant à la surface terrestre

sur une région de 1° de longitude par 1° de latitude est découpée en 1200 cellules transposées par 1200 cellules transposées, selon le maillage de référence. Chaque cellule transposée est alors par exemple sensiblement en forme d'un carré dont la longueur du côté correspond à une résolution de 3 secondes d'arc. La valeur de la résolution en seconde(s) d'arc définit la dimension correspondant à un côté d'un plus petit élément représentatif, le plus petit élément représentatif étant ici la cellule transposée.

- [0076] Dans l'exemple où une première base source est du type NASADEM, une deuxième base source est du type ASTER GDEM et une troisième base source est du type ALOS, le module de transposition 14 transpose la première base source en une première base source transposée, la deuxième base source en une deuxième base source transposée et respectivement la troisième base source en une troisième base source transposée, les première, deuxième et troisième bases sources transposées découpant la zone 30 du terrain selon le maillage de référence.
- [0077] Chaque base transposée 34 inclut, pour chaque cellule transposée 36, une élévation transposée ELV\_T. Chaque base transposée 34 comprend en outre de préférence, pour chaque cellule transposée 36, une métadonnée transposée MD\_T associée à l'élévation transposée ELV\_T.
- [0078] Le module de transposition 14 est ainsi configuré pour déterminer l'élévation transposée ELV\_T, et le cas échéant, la métadonnée transposée MD\_T, pour une base transposée 34, à partir d'au moins une élévation ELV et d'au moins une métadonnée MD, de la base source 28 étant transposée.
- [0079] Le module de transposition 14 est par exemple configuré pour déterminer l'élévation transposée ELV\_T de chaque cellule transposée 36 à partir de l'élévation ELV d'une cellule 32 correspondante de la base source 28 transposée. La cellule 32 correspondante est par exemple la cellule 32 de la base source couvrant le plus de surface commune du terrain avec la cellule transposée 36 de la zone 30 du terrain.
- [0080] Dans un mode de réalisation particulier, le module de transposition 14 est configuré pour déterminer l'élévation transposée ELV\_T à partir des élévations ELV de plusieurs cellules 32 correspondantes de la base source 28 étant transposée. L'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 correspond par exemple à la moyenne pondérée des élévations ELV des cellules 32 correspondant à la cellule transposée 36 de la base source 28 transposée. La moyenne est par exemple pondérée pour chaque élévation ELV par le rapport de la surface de la zone du terrain 30 correspondante de la cellule transposée 36 couverte par la cellule 32, divisé par la surface de la zone du terrain 30 couverte par la cellule transposée 36.
- [0081] Le module de transposition 14 est par exemple configuré pour déterminer la métadonnée transposée MD\_T de chaque cellule transposée 36 à partir de la métadonnée

d'une cellule 32 correspondante de la base source 28 transposée. La cellule 32 correspondante est par exemple la cellule 32 de la base source 28 couvrant le plus de surface commune du terrain avec la cellule transposée 36 de la zone 30 du terrain.

- [0082] En variante, le module de transposition 14 est configuré pour déterminer une métadonnée transposée MD\_T indicative d'une élévation prédéfinie si la métadonnée d'une des ou de la cellule 32 correspondante de la base source 28 transposée est indicative d'une élévation prédéfinie.
- [0083] Le module d'évaluation 16 est configuré pour évaluer un niveau de cohérence local NCL pour au moins une cellule transposée 36 d'une base transposée 34. Le module d'évaluation 16 est configuré pour évaluer le niveau de cohérence local NCL en fonction de la comparaison de l'élévation transposée ELV\_T d'une des cellules transposées 36 de l'une des bases transposées 34 avec l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 correspondante d'au moins une autre des bases transposées 34. En d'autres termes, le module d'évaluation 16 est configuré pour évaluer le niveau de cohérence local NCL pour une cellule transposée 36 en fonction de l'écart d'élévation entre ladite cellule transposée 36 et une ou plusieurs cellules transposées 36 correspondantes d'autres bases transposées 34.
- [0084] Dans une variante préférée, le module d'évaluation 16 est configuré pour évaluer le niveau de cohérence local NCL d'une cellule transposée 36 en fonction du plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée ELV\_T de ladite cellule transposée 36 et l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 correspondante de chaque autre base transposée 34.
- [0085] En outre, et de façon préférée, le module d'évaluation 16 est par exemple configuré pour évaluer le niveau de cohérence local NCL pour chaque cellule transposée 36 d'une base transposée respective 34, en fonction de la métadonnée transposée MD\_T de ladite cellule transposée 36 et de la métadonnée transposée MD\_T de la cellule transposée 36 correspondante de chaque autre base transposée 34. En d'autres termes, et comme une métadonnée transposée MD\_T est indicative de la dépendance ou de l'indépendance d'une élévation transposée ELV\_T d'une base transposée donnée 34 vis-à-vis d'élévations transposées d'autres bases transposées 34, le module d'évaluation 16 évalue le niveau de cohérence local NCL pour chaque cellule transposée 36 en fonction de la dépendance ou de l'indépendance de l'élévation transposée ELV\_T de ladite cellule transposée 36 et de la cellule transposée 36 correspondante de chaque autre base transposée 34.
- [0086] En particulier, et selon cette variante, le module d'évaluation 16 est configuré pour évaluer le niveau de cohérence local NCL en fonction seulement d'élévations ELV\_T de cellules transposées 36 dont la métadonnée MD\_T est indicative d'une élévation mesurée, et en particulier de la comparaison de telles élévations ELV\_T. En d'autres

termes, pour une base transposée 34 donnée, le module d'évaluation 16 est configuré pour évaluer le niveau de cohérence local NCL pour une cellule transposée 36 en fonction seulement d'élévations ELV\_T de cellules transposées 36 correspondantes d'autres bases transposées 34 indépendantes de l'élévation ELV\_T de la cellule transposée 36 de la base transposée 34 donnée.

- [0087] Le module d'évaluation 16 est alors configuré pour évaluer le niveau de cohérence local NCL d'une cellule transposée 36 en fonction du plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée ELV\_T de ladite cellule transposée 36 et l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 correspondante de chaque autre base transposée 34, la métadonnée transposée MD\_T associée à chacune des élévations transposées ELV\_T comparées étant indicative d'une élévation mesurée.
- [0088] Dans l'exemple où une première base source est du type NASADEM, une deuxième base source est du type ASTER GDEM et une troisième base source du type ALOS, et suite à la transposition de ces bases, le niveau de cohérence local NCL pour une cellule transposée 36 de l'une de ces bases est déterminé en fonction d'au moins un écart d'élévation entre l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 et l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 de l'une des autres bases transposées 34.
- [0089] En particulier, et dans la variante préférée, l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 de l'une des bases transposées 34 est comparée avec l'élévation transposée ELV\_T de chacune des cellules transposées 36 correspondantes pour lesquelles la métadonnée transposée MD\_T est indicative d'une élévation mesurée. Le plus petit écart d'élévation résultant de telles comparaisons sert alors de base pour évaluer le niveau de cohérence local NCL de la cellule transposée 36.
- [0090] Dans un exemple particulier, le niveau de cohérence local est choisi parmi un niveau de cohérence élevé, un niveau de cohérence moyen et un niveau de cohérence faible.
- [0091] Le niveau de cohérence local évalué d'une cellule transposée 36 est par exemple un niveau de cohérence élevé si le plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 et l'élévation transposée ELV\_T de chacune des cellules transposées correspondantes des autres bases transposées 34 est inférieur ou égal à 15m.
- [0092] Le niveau de cohérence local évalué d'une cellule transposée 36 est par exemple un niveau de cohérence moyen si le plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 et l'élévation transposée ELV\_T de chacune des cellules transposées correspondantes des autres bases transposées 34 est supérieur à 15m et inférieur ou égal à 30m.
- [0093] Le niveau de cohérence local évalué d'une cellule transposée 36 est par exemple un niveau de cohérence faible si le plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée

ELV\_T de la cellule transposée 36 et l'élévation transposée ELV\_T de chacune des cellules transposées correspondantes des autres bases transposées 34 est supérieur à 30m et inférieur ou égal à 100m.

- [0094] A titre d'exemple, si le plus petit écart d'élévation entre les élévations transposées ELV\_T d'une cellule transposée 36 correspond à l'écart d'élévation entre une élévation transposée ELV\_T dont la valeur est de 126 m (par exemple résultant de la transposition de l'élévation ELV d'une base source du type NASADEM) et une élévation transposée ELV\_T dont la valeur est de 101 m (par exemple résultant de la transposition de l'élévation ELV d'une base source du type ALOS), l'écart entre ces élévations transposées ELV\_T est égal à 25m et le niveau de cohérence local NCL de la cellule transposée 36 est évalué comme moyen.
- [0095] Dans d'autres exemple, le niveau de cohérence local NCL s'exprime directement comme la valeur du plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 et l'élévation transposée ELV\_T de chacune des cellules transposées correspondantes des autres bases transposées 34. Le niveau de cohérence local NCL s'exprime alors par exemple en mètre. Un niveau de cohérence local NCL élevé correspond alors à un faible écart d'élévation, exprimé en mètres, par exemple un écart d'élévation inférieur ou égal à 50m, 30m, 15m ou 10m. A l'inverse, le niveau de cohérence local NCL faible correspond à un écart important d'élévation exprimé en mètres, par exemple un écart d'élévation supérieur à 50m, 80m ou 100m.
- [0096] Le module d'assistance 18 est configuré pour déterminer une donnée D d'assistance à la navigation de l'aéronef, en fonction du niveau de cohérence local NCL évalué pour au moins l'une des cellules transposées 36.
- [0097] Le premier mode de réalisation illustré en [Fig.1], pour lequel un indice de confiance IC en un niveau de cohérence NC donné forme la donnée d'assistance D générée par le module d'assistance 18, va maintenant être présenté.
- [0098] Le module de segmentation 20 est configuré pour segmenter la zone 30 du terrain correspondant à au moins l'une des bases transposées 34 en une pluralité de zones d'intérêt 38.
- [0099] Le module de segmentation 20 est en particulier configuré pour segmenter la zone 30 du terrain de sorte à ce que chaque zone d'intérêt 38 comprenne une pluralité de cellules transposées adjacentes 36. Comme illustré schématiquement en [Fig.5], chaque zone d'intérêt 38 d'une même base transposée 34 comprend par exemple un même nombre de cellules transposées 36.
- [0100] Dans un exemple particulier, chaque zone d'intérêt 38 comprend un ensemble de 120 cellules transposées par 120 cellules transposées.
- [0101] Dans un tel exemple, et dans le cas où le maillage de référence est tel qu'une région de 1° de longitude par 1° de latitude est découpée en 1200 cellules transposées par

1200 cellules transposées 36, une telle région de 1° de longitude par 1° de latitude comprend cent zones d'intérêt 38.

- [0102] Chaque zone d'intérêt est alors par exemple sensiblement de la forme d'un carré dont la longueur d'un côté correspond à un angle égal à 6 minutes d'arc, ou en d'autres termes à une longueur d'environ 6 miles nautiques, noté Nm (de l'anglais *Nautical mile*).
- [0103] Le module d'assistance 18 est configuré pour déterminer, pour la zone d'intérêt 38, un indice de confiance IC en un niveau de cohérence NC donné.
- [0104] L'indice de confiance IC forme alors la donnée d'assistance et est déterminé en fonction du niveau de cohérence local NCL de chaque cellule transposée 36 de la zone d'intérêt 38.
- [0105] L'indice de confiance IC en un niveau de cohérence NC donné est par exemple déterminé en fonction de la proportion, sur la zone d'intérêt 38, de cellules transposées 36 dont le niveau de cohérence local NCL est supérieur ou égal audit niveau de cohérence NC donné.
- [0106] A titre d'exemple, pour un niveau de cohérence NC donné égal à un niveau de cohérence moyen, l'indice de confiance IC en le niveau moyen de cohérence correspond à la proportion de cellules, dans la zone d'intérêt 38, dont le niveau de cohérence local NCL est moyen ou élevé.
- [0107] On comprendra qu'en alternative, le module d'assistance 18 est configuré pour déterminer, pour la zone d'intérêt 38, un niveau de cohérence pour un indice de confiance donné.
- [0108] En référence à la [Fig.4], l'interface utilisateur 26 est configurée pour recevoir, de la part d'un utilisateur, un niveau de cohérence cible NCC et un indice de confiance limite ICL en ledit niveau de cohérence cible NCC.
- [0109] Dans la variante représentée, l'interface utilisateur 26 est dotée d'un clavier et d'un écran. En variante, l'interface utilisateur 26 est par exemple dotée d'un écran tactile.
- [0110] Le niveau de cohérence cible NCC correspond à un niveau de cohérence, tel que défini plus haut pour les niveaux de cohérence locaux NCL, que l'utilisateur du système 10 souhaite évaluer sur la zone d'intérêt 38.
- [0111] L'indice de confiance limite ICL en ledit niveau de cohérence cible NCC correspond par exemple à un indice de confiance minimum que l'utilisateur souhaite obtenir en le niveau de cohérence cible NCC sur la zone d'intérêt 38.
- [0112] Des couples d'indice de confiance limite ICL et de niveau de cohérence cible NCC découlent par exemple d'une réglementation ou d'exigences de l'utilisateur.
- [0113] Par exemple, un indice de confiance limite ICL de 95% en un niveau de cohérence de 30m est requis pour l'utilisation d'une base transposée 34, ou d'une base source 28 correspondante, pour la navigation d'un aéronef dans une zone aéroportuaire.

- [0114] Par exemple encore, un indice de confiance limite ICL de 80% en un niveau de cohérence de 80m est requis pour l'utilisation d'une base transposée, ou d'une base source 28 correspondante, pour la navigation d'un aéronef hors d'une zone aéroportuaire.
- [0115] Le module validation 22 est configuré pour valider une zone d'intérêt 38 si l'indice de confiance IC déterminé en le niveau de cohérence cible NCC est supérieur ou égal à l'indice de confiance limite ICL, et pour rejeter une zone d'intérêt 38 si ledit indice de confiance IC déterminé est inférieur à l'indice de confiance limite ICL.
- [0116] Comme illustré sur la [Fig.5], le module de commande 24 est par exemple configuré pour commander l'affichage d'un état validé si la zone d'intérêt 38 est validée par le module de validation 22, ou bien un état rejeté si la zone d'intérêt est rejetée par le module de validation 22. En particulier, le module de commande 24 est connecté à l'interface utilisateur 26 pour commander l'affichage de l'état validé ou rejeté sur l'interface utilisateur 26. Dans l'exemple de la [Fig.5], les zones d'intérêt 38 rejetées sont hachurées sur l'interface utilisateur 26 tandis que les zones d'intérêt 38 validées sont dépourvues de hachure sur l'interface utilisateur 26.
- [0117] Dans une variante non illustrée, le module de commande 24 est configuré pour générer une alerte lorsqu'un aéronef survole une zone d'intérêt 38 rejetée.
- [0118] En alternative ou en complément, le module de commande 24 est configuré pour commander la génération d'une trajectoire d'aéronef en dehors de la ou des zone(s) d'intérêt 38 rejetée(s). Une telle trajectoire est par exemple en outre affichée sur l'interface utilisateur, comme représenté par une courbe C sur la [Fig.5].
- [0119] Le module de commande 24 est par exemple configuré pour obtenir une trajectoire initiale de l'aéronef, et pour générer la trajectoire de l'aéronef à partir de cette trajectoire initiale, pour que la trajectoire de l'aéronef s'étende entièrement en dehors de la ou des zone(s) d'intérêt 38 rejetée(s).
- [0120] Le deuxième mode de réalisation, illustré en [Fig.2], pour lequel une élévation cible ELV\_C forme la donnée générée par le module d'assistance 18, va maintenant être présenté.
- [0121] Dans ce mode de réalisation, et comme illustré en [Fig.6], le module d'assistance 18 est configuré pour déterminer une base cible 40 de données terrain, correspondant à la zone 30 du terrain, découpée selon le maillage de référence en une pluralité de cellules cibles 42.
- [0122] Comme illustré en [Fig.6], chaque cellule cible 42 correspond à une cellule transposée 36 de chaque base transposée 34, le maillage de référence étant commun à la base cible 40 et aux bases transposées 34.
- [0123] La base cible 40 inclut, pour chaque cellule cible 42, une élévation cible ELV\_C formant la donnée d'assistance D.

- [0124] En particulier, le module d'assistance 18 est configuré, selon ce mode de réalisation, pour déterminer l'élévation cible ELV\_C de la cellule cible 42 en fonction des élévations transposées ELV\_T d'au moins deux cellules transposées 36 correspondantes, dont le niveau de cohérence local NCL est supérieur au niveau de cohérence local NCL des autres cellules transposées 36 correspondantes.
- [0125] Le module d'assistance 18 est par exemple configuré pour déterminer l'élévation cible ELV\_C de la cellule cible 42 en fonction des élévations transposées ELV\_T d'au moins deux cellules transposées 36 correspondantes en mettant en œuvre un filtre de Kalman pour la fusion des élévations transposées ELV\_T d'au moins deux cellules transposées 36.
- [0126] Dans un exemple particulier, le module d'assistance 18 est configuré pour déterminer l'élévation cible ELV\_C de la cellule cible 42 en fonction des élévations transposées ELV\_T des deux cellules transposées 36 correspondantes, dont le niveau de cohérence local NCL est supérieur au niveau de cohérence local NCL des autres cellules transposées 36 correspondantes. Ainsi, dans cet exemple, l'élévation cible ELV\_C d'une cellule cible 42 est déterminée en fonction seulement des deux élévations transposées ELV\_T de cellules transposées 36 ayant le niveau de cohérence local le plus élevé.
- [0127] Dans les exemples des figures 1 et 2 illustrant les premier et deuxième modes de réalisation précédemment décrits, le système d'assistance 10 comprend une unité de traitement d'informations 50 formée par exemple d'une mémoire 52 et d'un processeur 54 associé à la mémoire 52.
- [0128] Dans les exemples des figures 1 et 2, le module d'acquisition 12, le module de transposition 14, le module d'évaluation 16, le module d'assistance 18, et dans l'exemple de la [Fig.1], le module de segmentation 20, le module de validation 22 et le module de commande 24, sont réalisés chacun sous forme d'un logiciel, ou d'une brique logicielle, exécutable par le processeur 54.
- [0129] La mémoire 52 du système d'assistance 10 est alors apte à stocker un logiciel d'acquisition d'une pluralité de base source 28, un logiciel de transposition de chaque base sources 28 en une base transposée 34 respective, un logiciel d'évaluation d'un niveau de cohérence local NCL pour au moins une cellule transposée 36 d'une base transposée 34 respective, et un logiciel d'assistance à la navigation de l'aéronef. Dans l'exemple de la [Fig.1], la mémoire est en outre apte à stocker un logiciel de segmentation de la zone de terrain correspondant à au moins l'une des bases transposées en une pluralité de zones d'intérêt, un logiciel de validation d'une zone d'intérêt 38 et un logiciel de commande d'affichage et/ou de génération de trajectoire.
- [0130] Le processeur 54 est alors apte à exécuter chacun des logiciels parmi le logiciel d'acquisition, le logiciel de transposition, le logiciel d'évaluation, le logiciel

d'assistance, et, dans l'exemple de la [Fig.1], le logiciel de segmentation, le logiciel de validation et le logiciel de commande.

- [0131] Dans une variante non illustrée, le système comprend deux unités de traitement d'informations distinctes, chaque unité étant par exemple formée d'une mémoire et d'un processeur associé à la mémoire, l'une des unités étant embarquée dans un aéronef tandis que l'autre des unités est installée hors de l'aéronef. Le module d'acquisition 12, le module de transposition 14, le module d'évaluation 16, le module d'assistance 18 et le module de segmentation 20 sont par exemple réalisés chacun sous forme d'un logiciel, ou d'une brique logicielle, exécutable par le processeur de l'unité installée hors de l'aéronef. Le logiciel de validation et le logiciel de commande sont par exemple réalisés chacun sous forme d'un logiciel, ou d'une brique logicielle, exécutable par le processeur de l'unité embarquée dans l'aéronef.
- [0132] En variante non représentée, le module d'acquisition 12, le module de transposition 14, le module d'évaluation 16, le module d'acquisition 18, et par exemple le module de segmentation 20, le module de validation 22 et le module de commande 24, sont réalisés chacun sous forme d'un composant logique programmable, tel qu'un FPGA (de l'anglais *Field Programmable Gate Array*), ou encore sous forme d'un circuit intégré dédié, tel qu'un ASIC (de l'anglais *Application Specific Integrated Circuit*).
- [0133] Lorsque le système d'assistance 10 est réalisé sous forme d'un ou plusieurs logiciels, c'est-à-dire sous forme d'un programme d'ordinateur, il est en outre apte à être enregistré sur un support, non représenté, lisible par ordinateur. Le support lisible par ordinateur est par exemple, un médium apte à mémoriser des instructions électroniques et à être couplé à un bus d'un système informatique. A titre d'exemple, le support lisible est un disque optique, un disque magnéto-optique, une mémoire ROM, une mémoire RAM, tout type de mémoire non volatile (par exemple EPROM, EEPROM, FLASH, NVRAM), une carte magnétique ou une carte optique. Sur le support lisible est alors mémorisé un programme d'ordinateur comprenant des instructions logicielles.
- [0134] En référence à la [Fig.3], un procédé d'assistance 100 à la navigation d'un aéronef, mis en œuvre par le système électronique d'assistance 10, va maintenant être présenté.
- [0135] Lors d'une étape initiale 110 d'acquisition, le module d'acquisition 12 acquiert une pluralité de bases sources 28, telles que décrites précédemment. Comme vu plus haut, chaque base source contient, pour chacune de ses cellules 32, une élévation ELV, et contient par exemple une métadonnée MD. Le module d'acquisition 12 communique alors la pluralité de bases sources 28 acquises au module de transposition 14.
- [0136] Le module de transposition 14 transpose alors chaque base source 28 en une base transposée 34 lors d'une étape 120 de transposition. Comme illustré sur la [Fig.4] et comme décrit plus haut, le maillage de référence selon lequel est découpée chaque base transposée 34 de la zone 30 du terrain est commun à toutes les bases transposées 34.

Chaque base transposée lors de l'étape de transposition 120 inclut alors, pour chaque cellule transposée 36, une élévation transposée ELV\_T, voire en outre une métadonnée transposée MD\_T. Le module de transposition 14 communique alors la pluralité de bases transposées 34, résultant de la transposition de la pluralité de bases source 28, au module d'évaluation 16.

- [0137] Le module d'évaluation 16 évalue ensuite, lors d'une étape ultérieure 130 d'évaluation, un niveau de cohérence local NCL pour au moins une cellule transposée 36 d'une base transposée 34 respective. Le niveau de cohérence local NCL pour la cellule transposée 36 d'une base transposée 34 respective est en particulier déterminé en fonction de la comparaison de l'élévation transposée ELV\_T de ladite cellule transposée 36 avec l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 correspondante d'au moins une autre base transposée 34. Le module d'évaluation 16 communique alors au module d'assistance 18 ledit niveau de cohérence local NCL pour au moins une cellule transposée 36 d'une base transposée 34.
- [0138] Lors d'une étape ultérieure 140 de détermination d'une donnée d'assistance à la navigation de l'aéronef, le module d'assistance 18 détermine une donnée D d'assistance à la navigation de l'aéronef en fonction du niveau de cohérence local NCL évalué d'au moins une cellule transposée 36 de l'une des bases transposées 34.
- [0139] Comme vu plus haut, dans un premier mode de réalisation, la donnée d'assistance D est formée par un indice de confiance IC en un niveau de cohérence NC donné. Lors de l'étape 140 de détermination d'une donnée d'assistance à la navigation de l'aéronef, le module de segmentation 20 segmente la zone 30 de terrain en une pluralité de zones d'intérêt 38. Le module d'assistance 18 détermine alors, pour la zone d'intérêt 38, l'indice de confiance IC en un niveau de cohérence NC en fonction du niveau de cohérence local NCL de chaque cellule transposée 36 de la zone d'intérêt 38.
- [0140] Comme vu plus haut, dans un deuxième mode de réalisation, la donnée d'assistance D est par exemple formée par une élévation cible ELV\_C d'une cellule cible 42 d'une base cible 40. Lors de l'étape 140 de détermination d'une donnée d'assistance à la navigation de l'aéronef, le module d'assistance 18 détermine alors l'élévation cible ELV\_C de la cellule cible 42 en fonction des élévations transposées ELV\_T d'au moins deux cellules transposées 36 correspondantes, dont le niveau de cohérence local NCL est supérieur au niveau de cohérence local NCL des autres cellules transposées 36 correspondantes.
- [0141] L'utilisation d'un module d'évaluation 16 configuré pour évaluer le niveau de cohérence local NCL d'une cellule transposée 36 en fonction du plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée de ladite cellule 36 et l'élévation transposée de la cellule transposée 36 correspondante de chaque autre base transposée 34 est particulièrement avantageuse puisqu'elle permet d'exclure de l'évaluation du niveau de

cohérence local NCL les bases transposées 34 dont les élévations transposées ELV\_T des cellules 36 correspondantes sont éloignées de l'élévation transposée ELV\_T de ladite cellule, la probabilité que les élévations transposées ELV\_T de cellules correspondantes de telles bases transposées soient erronées étant élevée.

- [0142] Les niveaux de cohérence choisis sont particulièrement pertinents dans le domaine de l'assistance à la navigation d'aéronefs.
- [0143] L'utilisation des métadonnées pour l'évaluation du niveau de cohérence local NCL de chaque cellule transposée 36, et en particulier l'évaluation du niveau de cohérence local NCL en fonction du plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée ELV\_T de ladite cellule 32 et l'élévation transposée ELV\_T de la cellule transposée 36 correspondante de chaque autre base transposée 34, est particulièrement avantageuse puisqu'elle permet de ne considérer que les données d'élévation ELV\_T ayant été mesurées lors de l'élaboration de la base source 28 résultant en la base transposée 34. Ainsi, l'utilisation des métadonnées évite par exemple d'évaluer le niveau de cohérence local NCL en fonction de la comparaison de données provenant de mêmes mesures, ou en d'autres termes, évite la comparaison de données dépendantes les unes des autres pour le calcul du niveau de cohérence local NCL, améliorant ainsi la qualité de l'évaluation du niveau de confiance local NCL et donc de l'assistance à la navigation.
- [0144] La détermination d'un indice de confiance IC en un niveau de cohérence NC sur une zone d'intérêt 38 et, le cas échéant, la validation et la commande d'un affichage ou de la génération d'une trajectoire en fonction d'un tel indice de confiance IC en un niveau de cohérence NC sur une zone d'intérêt 38, permet de prendre en considération d'éventuelles erreurs locales des bases sources 28 dans l'assistance à la navigation, et le cas échéant, d'afficher des informations de validation ou de générer une trajectoire de façon plus fiable.
- [0145] La détermination de l'élévation cible de la cellule cible 42 en fonction des élévations transposées ELV\_T d'au moins deux cellules transposées 36 correspondantes permet en outre de former une base cible 40 dont les valeurs d'élévation ELV\_C sont plus précises que les valeurs d'élévation ELV des bases source 28.

## Revendications

[Revendication 1]

Système électronique (10) d'assistance à la navigation d'un aéronef, comprenant :

- un module d'acquisition (12) configuré pour acquérir une pluralité de bases sources (28) de données terrain, chaque base source (28) correspondant à une zone (30) d'un terrain susceptible d'être survolée par l'aéronef, découpée selon un maillage en une pluralité de cellules (32), chacune correspondant à un secteur de la zone (30) du terrain ; chaque base source (28) contenant, pour chaque cellule (32), une élévation (ELV),

- un module de transposition (14) configuré pour transposer chaque base source (28) en une base transposée (34) respective de données terrain, chaque base transposée (34) correspondant à ladite zone (30) du terrain, découpée selon un maillage de référence en une pluralité de cellules transposées (36), le maillage de référence étant commun à toutes les bases transposées (34), chaque base (34) transposée incluant, pour chaque cellule transposée (36), une élévation transposée (ELV\_T),

- un module d'évaluation (16) configuré pour évaluer un niveau de cohérence local (NCL), traduisant une précision verticale, pour au moins une cellule transposée (36) d'une base transposée (34) respective, en fonction de la comparaison de l'élévation transposée (ELV\_T) de ladite cellule (36) avec l'élévation transposée (ELV\_T) de la cellule transposée (36) correspondante d'au moins une autre base transposée (34), et

- un module d'assistance (18) configuré pour déterminer une donnée (D) d'assistance à la navigation de l'aéronef, en fonction du niveau de cohérence local (NCL) évalué pour ladite au moins une cellule transposée (36),

chaque base source (28) contenant en outre, pour chaque cellule (32), une métadonnée (MD) associée à l'élévation (ELV), chaque base transposée (34) incluant, pour chaque cellule transposée (36), une métadonnée transposée (MD\_T),

le module d'évaluation (16) étant alors configuré pour évaluer le niveau de cohérence local (NCL) pour chaque cellule transposée (36) d'une base transposée (34) respective, en fonction de la métadonnée transposée (MD\_T) de ladite cellule (36) et de la métadonnée transposée (MD\_T) de la cellule (36) correspondante de chaque autre base

transposée (34), la métadonnée (MD) étant indicative d'une élévation mesurée ou d'une élévation prédéfinie, le module d'évaluation (16) étant alors configuré pour évaluer le niveau de cohérence local (NCL) en fonction seulement de la comparaison d'élévations de cellules transposées (36) dont la métadonnée (MD\_T) est indicative d'une élévation mesurée.

[Revendication 2] Système (10) selon la revendication 1, dans lequel le module d'évaluation (16) est configuré pour évaluer le niveau de cohérence local (NCL) en fonction du plus petit écart d'élévation entre l'élévation transposée (ELV\_T) de ladite cellule (36) et l'élévation transposée (ELV\_T) de la cellule transposée (36) correspondante de chaque autre base transposée (34).

[Revendication 3] Système (10) selon la revendication 2, dans lequel le niveau de cohérence local (NCL) est choisi parmi un niveau de cohérence élevé, un niveau de cohérence moyen et un niveau de cohérence faible le niveau de cohérence local (NCL) évalué étant :

- un niveau de cohérence élevé si le plus petit écart d'élévation est inférieur ou égal à 15m ;
- un niveau de cohérence moyen si le plus petit écart d'élévation est supérieur à 15m et inférieur ou égal à 30m ;
- un niveau de cohérence faible si le plus petit écart d'élévation est supérieur à 30m et inférieur ou égal à 100m.

[Revendication 4] Système (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le système (10) comprend :

- un module de segmentation (20) configuré pour segmenter la zone (30) du terrain correspondant à au moins l'une des bases transposées (34) en une pluralité de zones d'intérêt (38), chaque zone d'intérêt (38) comprenant une pluralité de cellules transposées (36) adjacentes ;

le module d'assistance (18) étant configuré pour déterminer, pour la zone d'intérêt (38), un indice de confiance (IC) en un niveau de cohérence donné, l'indice de confiance (IC) formant la donnée d'assistance (D) et étant déterminé en fonction du niveau de cohérence local (NCL) de chaque cellule transposée (36) de la zone d'intérêt (38).

[Revendication 5] Système (10) selon la revendication 4, dans lequel l'indice de confiance (IC) en un niveau de cohérence donné est déterminé en fonction de la proportion, sur la zone d'intérêt (38), de cellules transposées (36) dont

le niveau de cohérence local (NCL) est supérieur ou égal audit niveau de cohérence donné.

[Revendication 6]

Système (10) selon la revendication 4 ou 5, dans lequel le système (10) comprend :

- une interface utilisateur (26) configurée pour recevoir, de la part d'un utilisateur, un niveau de cohérence cible (NCC) et un indice de confiance limite (ICL) en ledit niveau de cohérence cible (NCC); et
- un module de validation (22) configuré pour :
  - + valider une zone d'intérêt (38) si l'indice de confiance (IC) déterminé en le niveau de cohérence cible (NCC) est supérieur ou égal à l'indice de confiance limite (ICL) ;
  - + rejeter une zone d'intérêt si l'indice de confiance (IC) déterminé en le niveau de cohérence cible (NCC) est inférieur à l'indice de confiance limite (ICL); et
- un module de commande (24), configuré pour :
  - + commander un affichage d'un état validé si la zone d'intérêt (38) est validée par le module de validation (22), ou bien un état rejeté si la zone d'intérêt (38) est rejetée par le module de validation (22) ; et/ou
  - + commander la génération d'une trajectoire d'aéronef en dehors de la ou des zone(s) d'intérêt (38) rejetée(s).

[Revendication 7]

Système (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le module d'assistance (18) est configuré pour déterminer une base cible (40) de données terrain, correspondant à la zone (30) du terrain, découpée selon le maillage de référence en une pluralité de cellules cible (42) ; la base cible (40) incluant, pour chaque cellule cible (42), une élévation cible (ELV\_C) formant la donnée d'assistance (D), le module d'assistance (18) étant alors configuré pour déterminer l'élévation cible (ELV\_C) de la cellule cible (42) en fonction de l'élévation transposée (ELV\_T) d'au moins deux cellules transposées (36) correspondantes, dont le niveau de cohérence local (NCL) est supérieur au niveau de cohérence local (NCL) des autres cellules transposées (36) correspondantes.

[Revendication 8]

Procédé (100) d'assistance à la navigation d'un aéronef, mis en œuvre par un système électronique (10) d'assistance à la navigation d'un aéronef, le procédé (100) comprenant les étapes suivantes:

- acquisition (110) d'une pluralité de bases sources (28) de données terrain, chaque base source (28) correspondant à une zone (30) d'un terrain susceptible d'être survolée par l'aéronef, découpée selon un

maillage en une pluralité de cellules (32), chacune correspondant à un secteur de la zone (30) du terrain ; chaque base source (28) contenant, pour chaque cellule (32), une élévation (ELV),

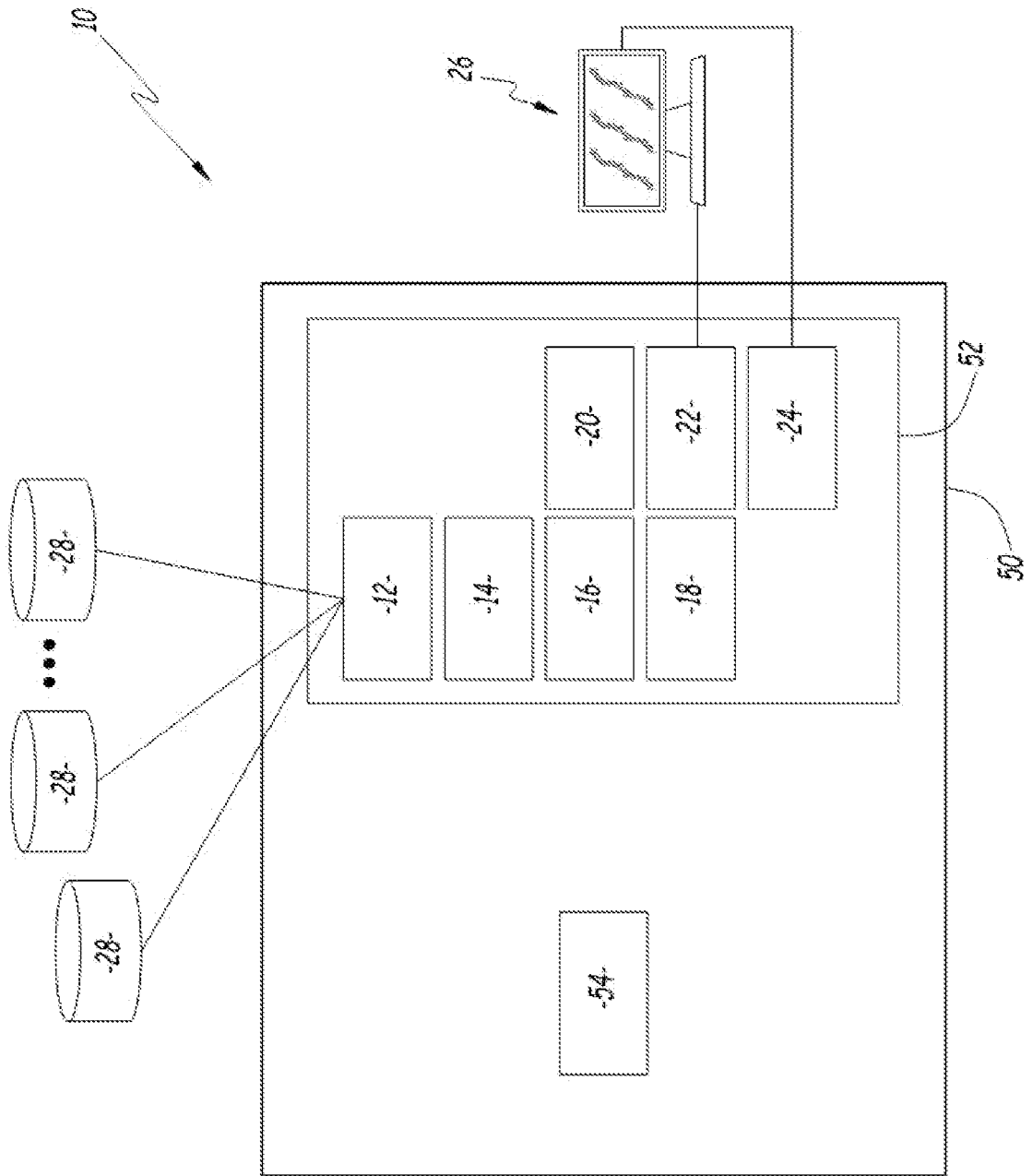
- transposition (120) de chaque base source (28) en une base transposée (34) respective de données terrain, chaque base transposée (34) correspondant à ladite zone (30) du terrain, découpée selon un maillage de référence en une pluralité de cellules transposées (36), le maillage de référence étant commun à toutes les bases transposées (34), chaque base transposée (34) incluant, pour chaque cellule transposée (36), une élévation transposée (ELV\_T),
- évaluation (130) d'un niveau de cohérence local (NCL), traduisant une précision verticale, pour au moins une cellule transposée (36) d'une base transposée (34) respective, en fonction de la comparaison de l'élévation transposée (ELV\_T) de ladite cellule (36) avec l'élévation transposée (ELV\_T) de la cellule transposée (36) correspondante d'au moins une autre base transposée (34), et
- détermination (140) d'une donnée d'assistance (D) à la navigation de l'aéronef, en fonction du niveau de cohérence local (NCL) évalué d'au moins une cellule transposée (36) de l'une des bases transposées (34), chaque base source (28) contenant en outre, pour chaque cellule (32), une métadonnée (MD) associée à l'élévation (ELV), chaque base transposée (34) incluant, pour chaque cellule transposée (36), une métadonnée transposée (MD\_T),

lors de l'étape d'évaluation, le niveau de cohérence local (NCL) est évalué en fonction en outre de la métadonnée transposée (MD\_T) de ladite cellule (36) et de la métadonnée transposée (MD\_T) de la cellule (36) correspondante de chaque autre base transposée (34), la métadonnée (MD) étant indicative d'une élévation mesurée ou d'une élévation prédéfinie, le niveau de cohérence local (NCL) étant évalué en fonction seulement de la comparaison d'élévations de cellules transposées (36) dont la métadonnée (MD\_T) est indicative d'une élévation mesurée.

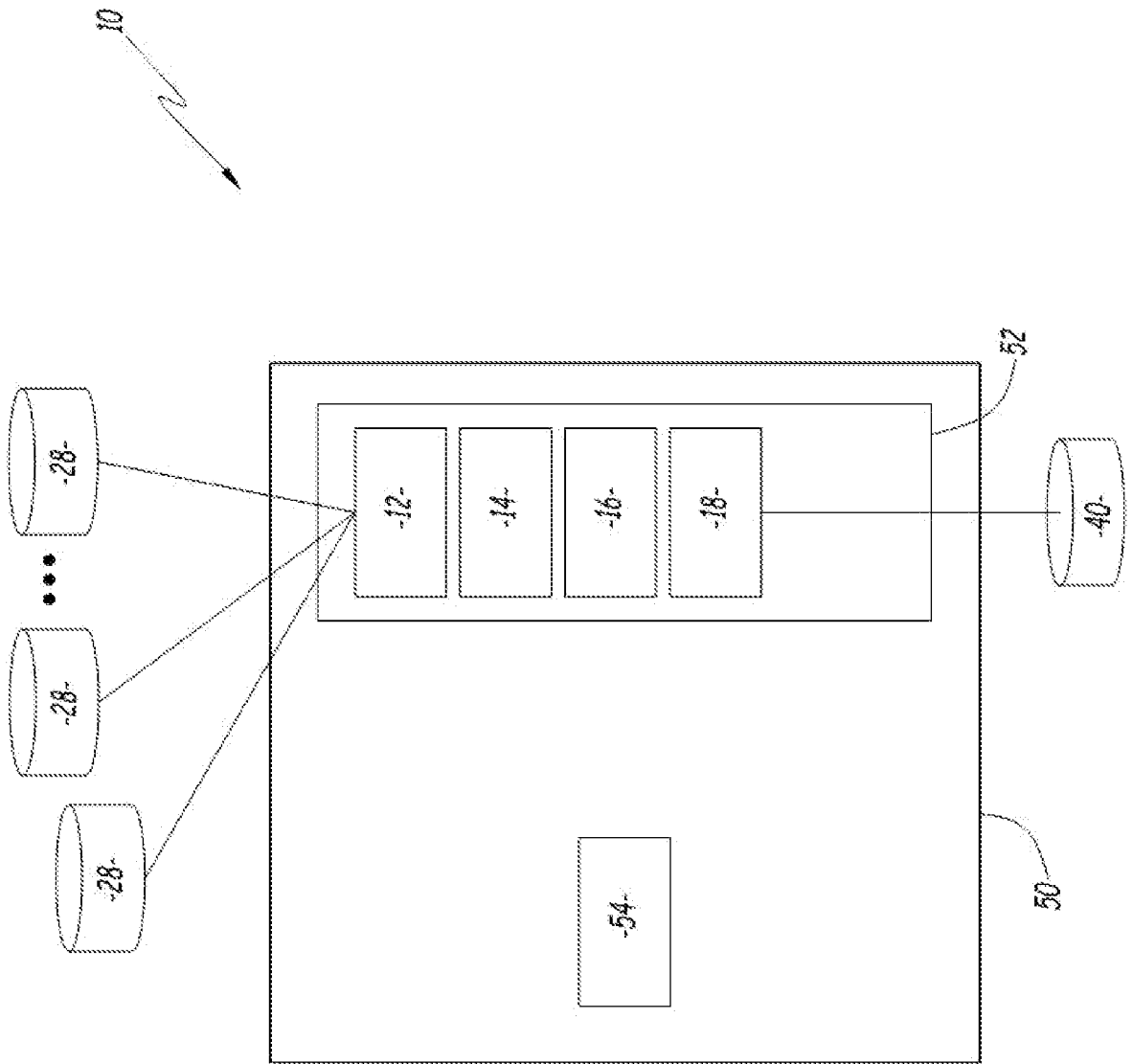
[Revendication 9]

Programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre un procédé (100) selon la revendication précédente.

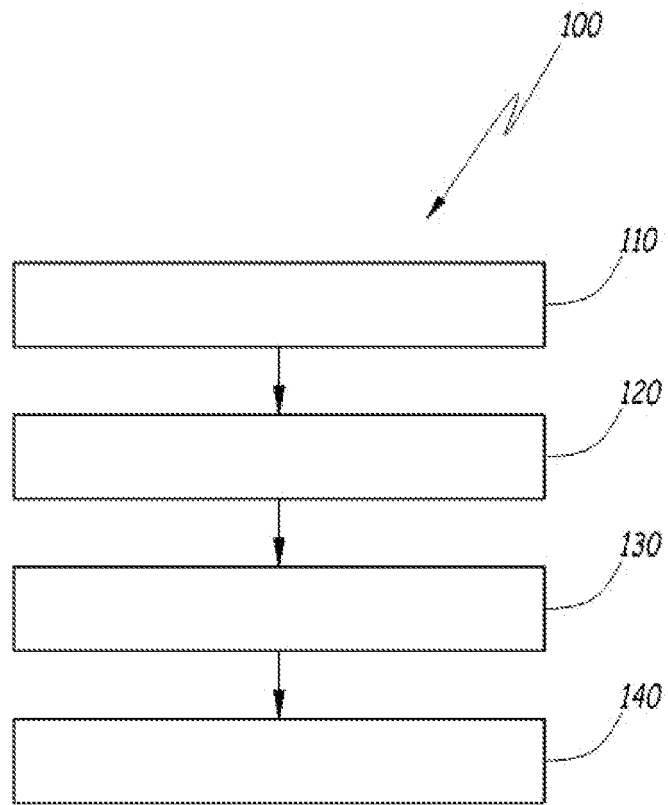
[Fig. 1]



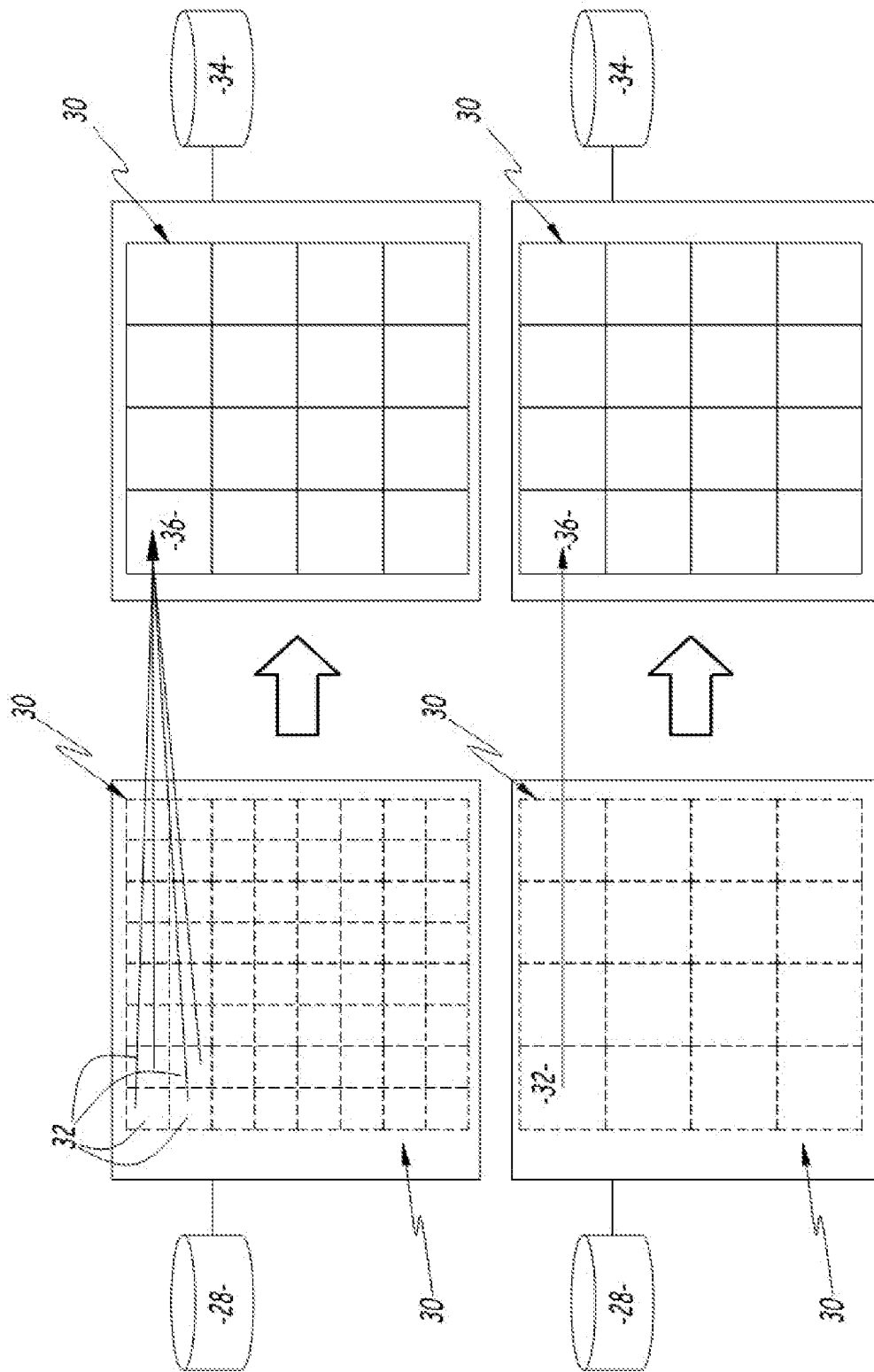
[Fig. 2]



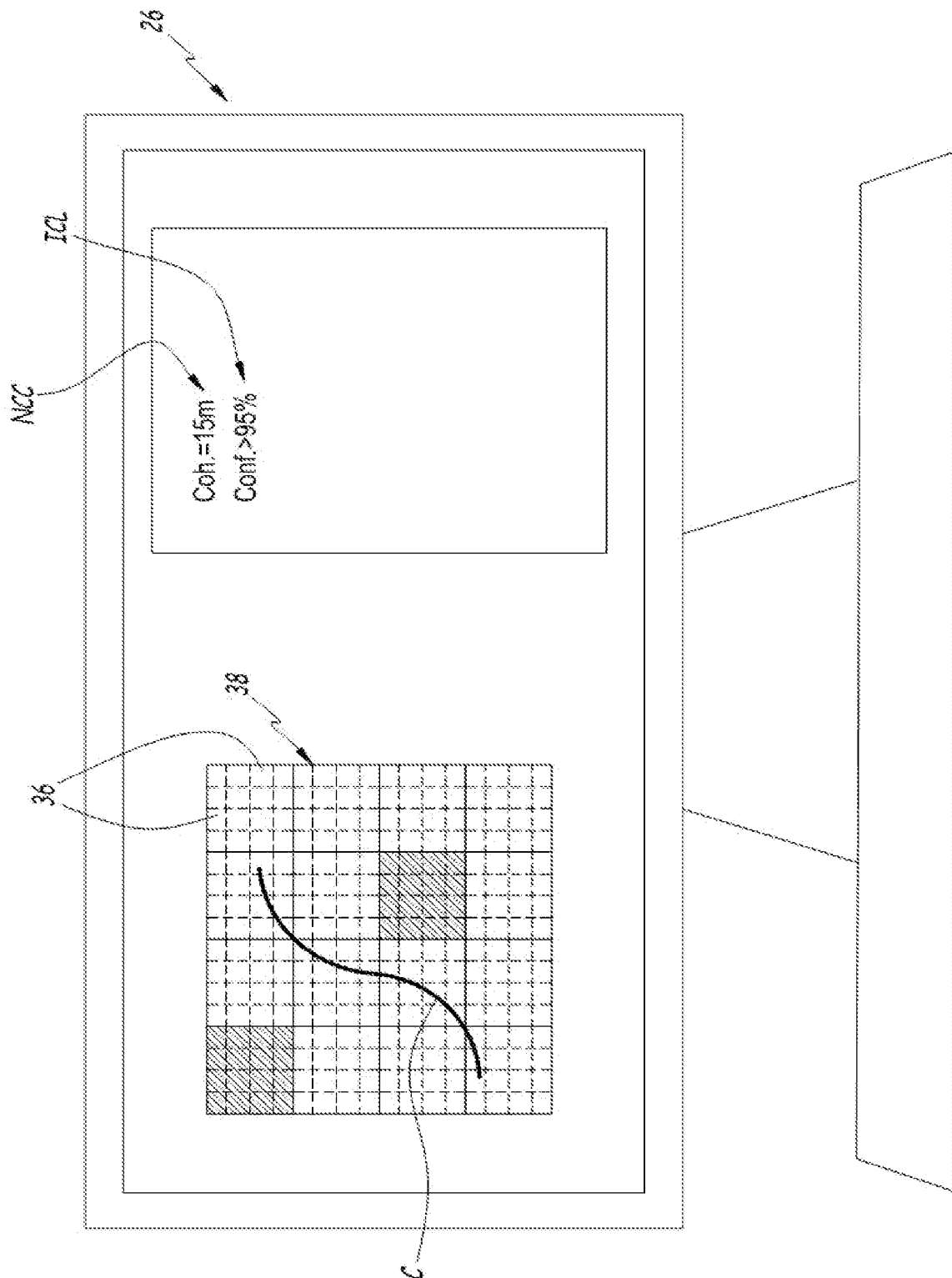
[Fig. 3]



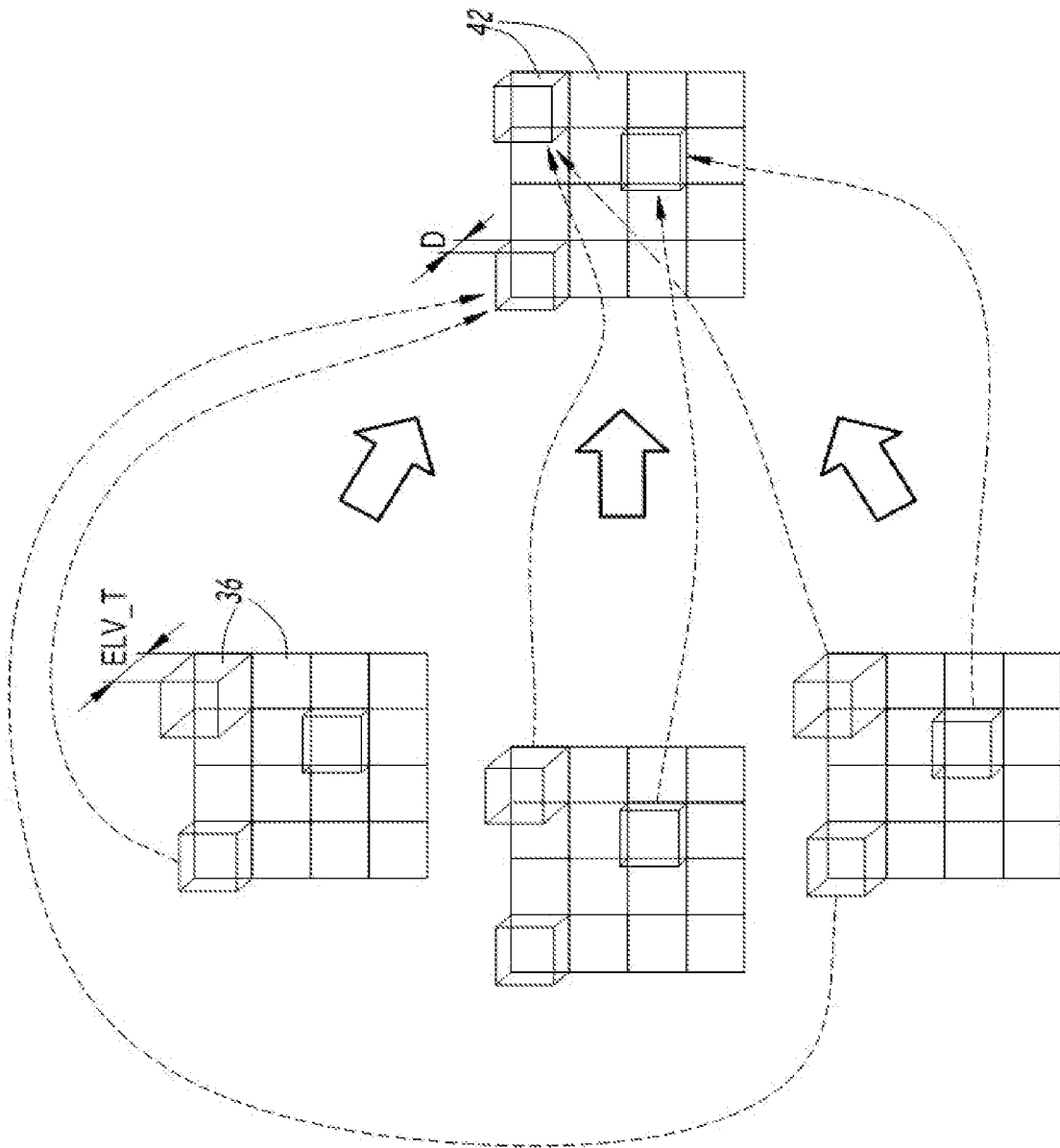
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



# RAPPORT DE RECHERCHE

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

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

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

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

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

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

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

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

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

WO 2008/018906 A2 (MERCURY COMP SYSTEMS  
INC [US]; ALTER KEITH [US] ET AL.)  
14 février 2008 (2008-02-14)

CARLOS H GROHMANN: "Evaluation of  
TanDEM-X DEMs on selected Brazilian sites:  
comparison with SRTM, ASTER GDEM and ALOS  
AW3D30",  
ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201  
OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY  
14853,  
15 septembre 2017 (2017-09-15),  
XP081315709,  
DOI: 10.1016/J.RSE.2018.04.043

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

VADLAMANI A ET AL: "A 3D spatial  
integrity monitor for terrain databases",  
DIGITAL AVIONICS SYSTEMS CONFERENCE, 2004.  
DASC 04. THE 23RD SALT LAKE CITY, UT, USA  
24-28 OCT. 2004, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE,  
US,  
vol. 1, 24 octobre 2004 (2004-10-24),  
pages 41-13Vol.1, XP010764987,  
ISBN: 978-0-7803-8539-9

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

NEANT