

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD MONTFRETIT

Image : EUSPA



Amélioration de la précision des systèmes GNSS

© Département d'avionique Document à des fins de formation

1

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD MONTFRETIT

Avant de débiter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

2

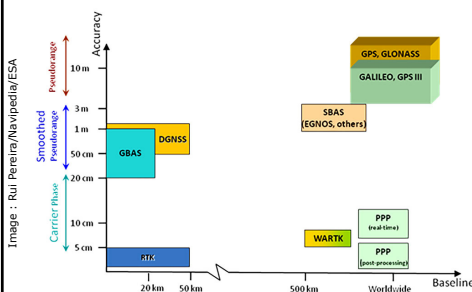
Présentation du cours



- Introduction.
- ABAS-Aircraft-based Augmentation System.
- GBAS-Ground-based Augmentation System.
- SBAS-Satellite-based Augmentation System.
- Approches LPV.

3

Introduction



L'ABAS n'est pas repris dans le diagramme ci-dessus, car il n'est pas réellement un moyen d'améliorer la précision des récepteurs GNSS !

- Il existe plusieurs méthodes dites d'amélioration de la précision des systèmes GNSS :

- **ABAS**-Aircraft-based Augmentation System.
- **GBAS**-Ground-based Augmentation System.
- **DGNSS**-Differential GNSS.
- **SBAS**-Satellite-based Augmentation System.
- **RTK**-Real Time Kinematic.
- **WARTK**-Wide-area RTK.
- **PPP**-Precise Point Positioning.

4

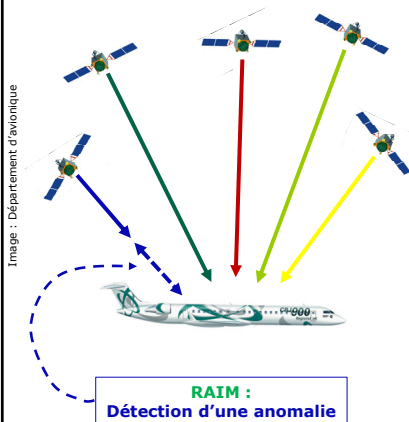
ABAS-Aircraft-based Augmentation System

Principe

- L'ABAS n'est pas à proprement parlé un système d'amélioration de la précision des GNSS.
- Il ne corrige donc pas les signaux reçus des satellites GNSS.
- Il fonctionne en utilisant des informations ou des capteurs déjà présents à bord des aéronefs pour vérifier l'intégrité des données GNSS.
- L'ABAS peut, ainsi, utiliser la redondance des signaux GNSS ou l'intégration d'informations provenant de systèmes embarqués.
- Deux fonctions sont considérées comme faisant partie de l'ABAS : RAIM et AAIM.

ABAS-Aircraft-based Augmentation System

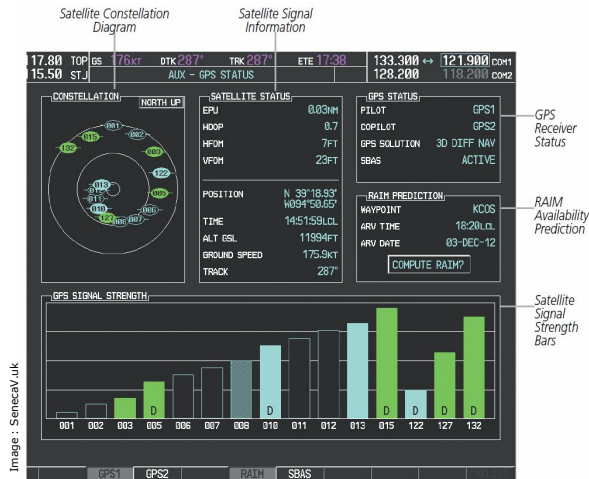
La fonction RAIM



- Il s'agit de la capacité du récepteur à exclure de son calcul tout satellite GNSS dont le signal est douteux ou hors norme.
- La fonction RAIM nécessite la réception fiable d'au moins cinq satellites.
- Le récepteur confirme la validité individuelle de chaque satellite en effectuant des mesures comparatives entre des groupes de quatre satellites.
- Si un satellite est exclu, un sixième satellite est nécessaire pour maintenir la fonction RAIM.

ABAS-Aircraft-based Augmentation System

La fonction RAIM



- Pour la prédiction de la précision GNSS selon un plan de vol, le pilote vérifie la disponibilité minimale de la réception satellitaire sur un logiciel (ou une application) afin d'éviter les zones et les périodes de dégradation de signal.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

7

ABAS-Aircraft-based Augmentation System

La fonction AAIM

- La fonction AAIM utilise des informations fournies par plusieurs systèmes embarqués afin de vérifier l'intégrité des signaux GNSS et du calcul de la position.
- Ces systèmes peuvent être :

ADC-Air Data Computer.
DME-Distance Measurement Equipment.
IRS-Inertial Reference System (navigation estimée).
 Autres systèmes futurs (ex. eLORAN ?)

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

8

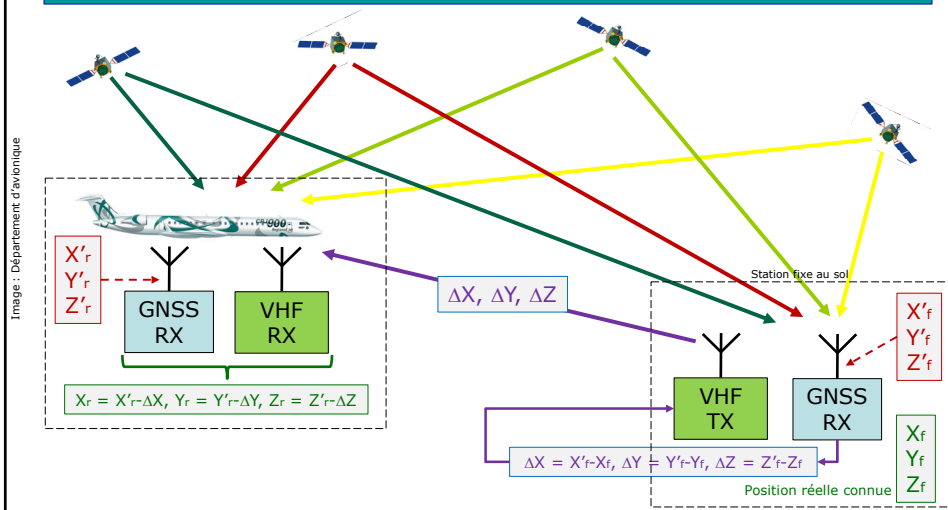
GBAS-Ground-based Augmentation System

Principe du GNSS différentiel (DGNSS)

- Le GNSS différentiel a pour but de compenser les erreurs de position des systèmes GNSS.
- Un récepteur fixe situé à une position connue avec précision transmet les informations nécessaires à un récepteur mobile afin que celui-ci, par calcul, puisse éliminer l'erreur par différence.
- Le concept est basé sur l'idée qu'une même erreur provenant des signaux des satellites GNSS affecte une région donnée.
- Dès lors, le calcul de la position pour deux récepteurs situés dans la même région est entaché de la même erreur.
- Le but, en aviation, est de pouvoir effectuer des approches de précision aux aéroports afin, potentiellement, de remplacer les systèmes ILS.

GBAS-Ground-based Augmentation System

Principe du GNSS différentiel (DGNSS)



GBAS-Ground-based Augmentation System

LAAS-Local Area Augmentation System

- Le but du LAAS (maintenant connu sous le nom de GBAS) est d'améliorer la précision du système GPS afin de pouvoir effectuer des approches sans visibilité fiables.
- Le LAAS est uniquement composé de systèmes au sol.
- L'étendue de la couverture du LAAS est restreinte à une zone d'aérodrome.
- Le principe utilisé est celui du GNSS différentiel.
- Un appel d'offres a été lancé en 2002 pour 15 à 40 systèmes devant être certifiés et mis en service en 2004; ont répondu Honeywell/Lockheed Martin et Raytheon/Thales.
- Mais le LAAS ne s'est pas développé davantage, le SBAS s'étant avéré plus intéressant, car couvrant une plus grande région.

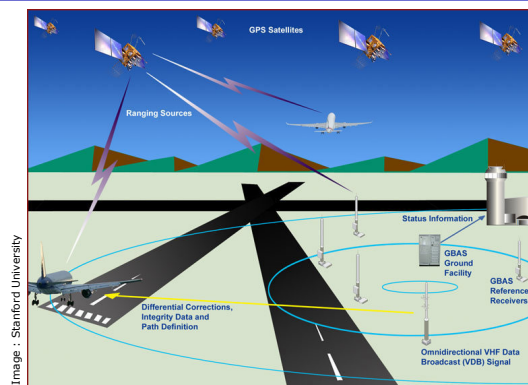
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

11

GBAS-Ground-based Augmentation System

LAAS-Local Area Augmentation System



- Les récepteurs de bord reçoivent les signaux GNSS ainsi que les données de correction émises par le LAAS/GBAS en VHF (VDB-VHF Data Broadcast).

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

12

SBAS-Satellite-based Augmentation System

Principe

- Le concept vise à améliorer la précision des calculs de position des récepteurs GNSS, et ceci avec une couverture très large.
- Plusieurs systèmes SBAS existent :

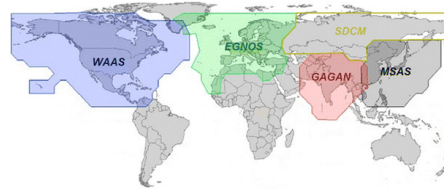


Image : Research Gate

Région	SBAS
Amérique du Nord	WAAS + CWAAS
Europe	EGNOS
Russie	SDCM

Région	SBAS
Chine	SNAS
Inde	GAGAN
Japon	MSAS

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

13

SBAS-Satellite-based Augmentation System

Principe

- Le concept vise à améliorer la précision des calculs de position des récepteurs GNSS, et ceci avec une couverture très large.
- Plusieurs systèmes SBAS existent :

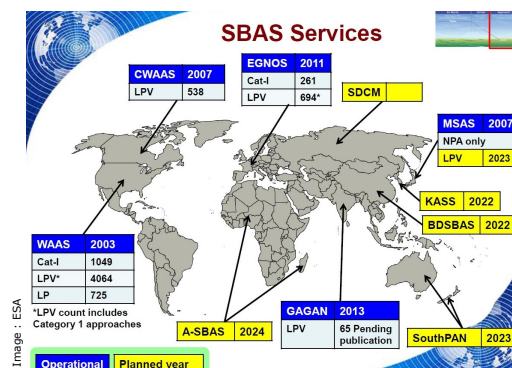


Image : ESA

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

14

SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System

- Le WAAS et le CWAAS sont destinés à améliorer les performances du système GPS sur une vaste zone.
- La zone couverte consiste essentiellement en l'Amérique du Nord ainsi que l'Amérique Centrale et les Caraïbes.
- Après de nombreux déboires, Bill Clinton avait fait cesser de subsidier les recherches de mise au point du système.
- Avec la concrétisation du développement du système européen GALILEO en vue, George W. Bush a permis la relance de la recherche et la mise en service du WAAS.
- Une société canadienne, NovAtel de Calgary fournit tous les récepteurs destinés aux stations au sol du WAAS.

SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System

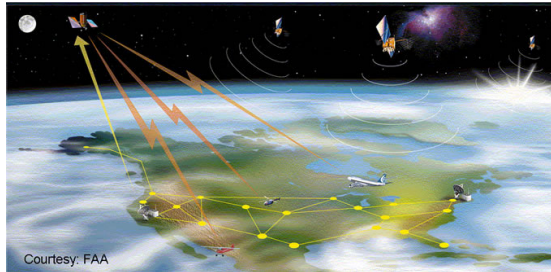
- Le principal objectif du WAAS est de fournir un moyen de navigation primaire à l'aviation civile nord-américaine.
- Le WAAS devrait pouvoir fournir une aide fiable au secteur aérien dans les cas de navigations suivantes :

- ✓ En route.
- ✓ Terminales.
- ✓ Approches de non précision.
- ✓ Approches de précision.

- Même si le WAAS est une initiative civile, l'inconvénient majeur demeure le contrôle par le Département de la Défense des États-Unis du système GPS sans qui le WAAS ne peut fonctionner.

SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System

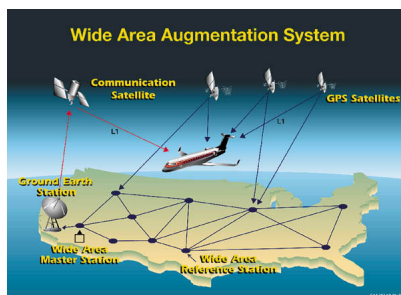


• Le WAAS est censé :

- Fournir des corrections différentielles en vue d'accroître la précision du système GPS de base tant en RNAV qu'en VNAV.
- Vérifier l'intégrité du fonctionnement du système en contrôlant les dépassements des tolérances éventuels et en s'assurant qu'ils demeurent dans les limites fixées.

SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System



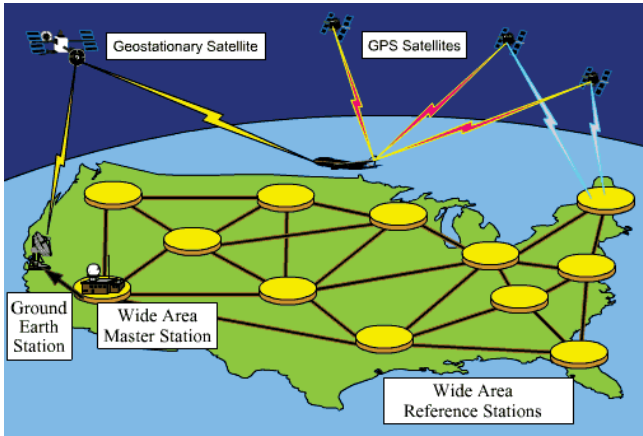
- Le principe du WAAS est basé sur la diffusion de signaux de correction différentiels spécifiques pour corriger les erreurs d'horloges des satellites GPS, les erreurs d'éphémérides et les erreurs ionosphériques.
- Les facteurs de correction ionosphériques sont diffusés en rapport avec des IGP (*Ionospheric Grid Points*) prédéfinis (IGP = Lat/Long ramenés à l'ionosphère).
- Avec le WAAS, la précision est inférieure à 3 mètres.

SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System

- Le WAAS est constitué de :

- **WRS** Wide Area Reference Stations
- **WMS** Wide Area Master Stations
- **GES** Ground Earth Stations
- **GEO** Geostationary Earth Orbiting Satellites
- **TCS** Terrestrial Communications Subsystem



© Département d'avionique

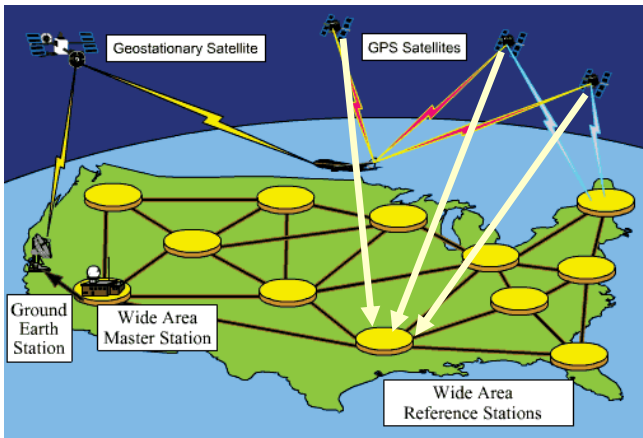
Document à des fins de formation

19

SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System

- Pour la première phase du WAAS, 25 WRS reçoivent et interprètent les données émises par les différents satellites GPS.



© Département d'avionique

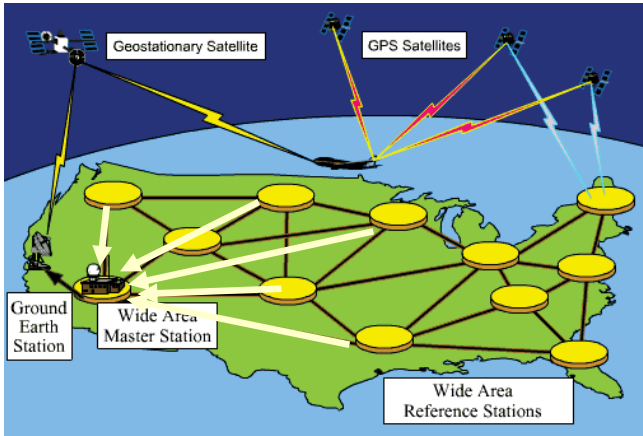
Document à des fins de formation

20

SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System

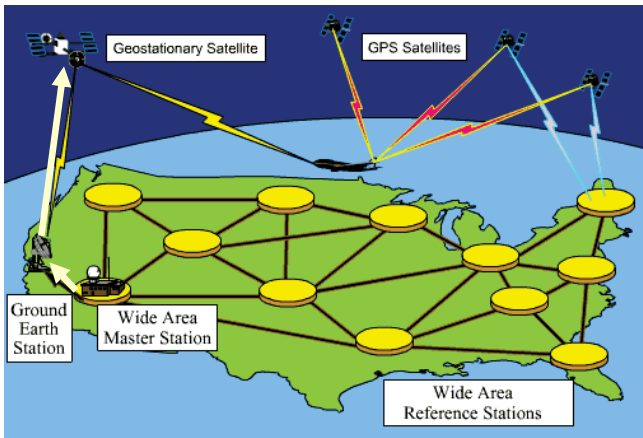
- Ces données captées par les WRS sont envoyées aux WMS qui, à l'aide de celles-ci, déterminent les facteurs de corrections différentiels pour chaque satellite et pour chaque IGP.



SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System

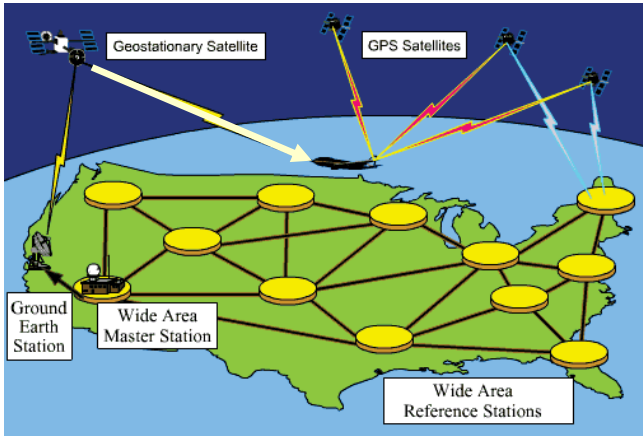
- Ces facteurs de corrections sont envoyés à tous les GES qui, à leur tour et en associant les messages de navigation des satellites géo-stationnaires, les transmettent aux IGO.



SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System

- Les GEO transmettent ensuite ces données vers les utilisateurs en utilisant un code PRN sur la fréquence L1.
- Par ailleurs, toutes les stations au sol communiquent via le TCS.



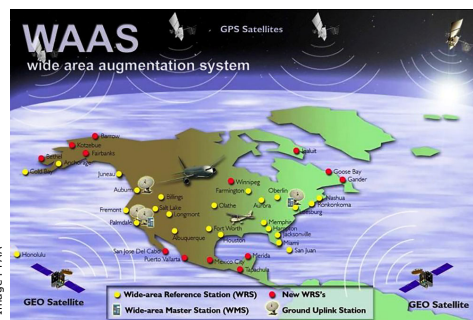
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

23

SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System



- Les performances du WAAS sont telles qu'il est maintenant possible d'effectuer des approches LPV-Localizer Performance with vertical Guidance.
- Depuis 2007, le LPV atteint ou excède les critères requis pour les ILS CAT I.

- Actuellement, trois satellites commerciaux GEO sont fonctionnels pour le WAAS/CWAAS; il s'agit d'Eutelsat 117 West B, de SES-15 et de Galaxy 30.

- Ils ont succédés à des satellites plus anciens.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

24

SBAS-Satellite-based Augmentation System

WAAS-Wide Area Augmentation System



Image : Esterline

- Le 17 décembre 2008, Esterline (CMC Électronique) a présenté son récepteur GPS-WAAS CMA-5024 certifié pour les approches LPV par Transports Canada et la FAA.
- Ce système permet de fournir des signaux d'approche de précision au pilote automatique et aux écrans EFIS.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

25

SBAS-Satellite-based Augmentation System

EGNOS- European Geostationary Navigation Overlay System

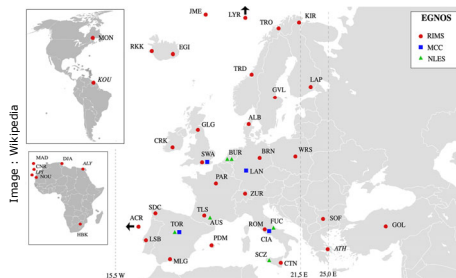


Image : Wikipedia

- EGNOS est un projet SBAS lancé par l'Agence Spatiale Européenne, la Commission Européenne et Eurocontrol.
- Ce système SBAS a été conçu initialement pour améliorer la précision des systèmes GPS et GLONASS et est maintenant partie intégrante du système Galileo.

- 44 stations de référence au sol (RIMS).
- 2 centres de contrôle principaux (MCC), un en Espagne et un de réserve en Italie.
- 3 satellites GEO : Eutelsat 5 West B, SES-5 et Astra 5B utilisant des codes PRN.
- 2 stations terrestres par GEO (NLES).
- Fréquences L1 et L5.



Station RIMS de Berlin

Image : Wikipedia

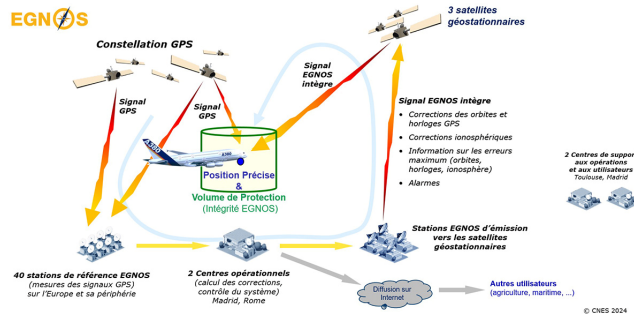
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

26

SBAS-Satellite-based Augmentation System

EGNOS- European Geostationary Navigation Overlay System



- EGNOS est opérationnel depuis 2009 et permet actuellement d'amener la précision des systèmes GNSS à 2 mètres.

- Les approches LPV sont possibles depuis 2014.
- EGNOS fournit un service SoL-Safety of Life, qui a été certifié en mars 2011, et garantit l'intégrité d'une prédiction au moins pour 150 secondes.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

27

Approches LPV

Généralités

- Depuis bien des années, on tente de trouver un successeur à l'ILS ...
- Actuellement, les systèmes SBAS permettent d'effectuer des approches de précision équivalente aux ILS CAT I, avec une hauteur de décision (DH) de 300 pieds ou 200 pieds.
- La précision n'est actuellement pas suffisante pour effectuer des approches équivalentes à la CAT II et à la CAT III de l'ILS (il faudrait un GBAS).
- L'avantage des approches LPV SBAS est qu'elles ne nécessitent aucune infrastructure particulière ni aucun émetteur au sol comme l'ILS ou le MLS.
- On peut donc implanter facilement des approches LPV sur des aéroports secondaires.

© Département d'avionique

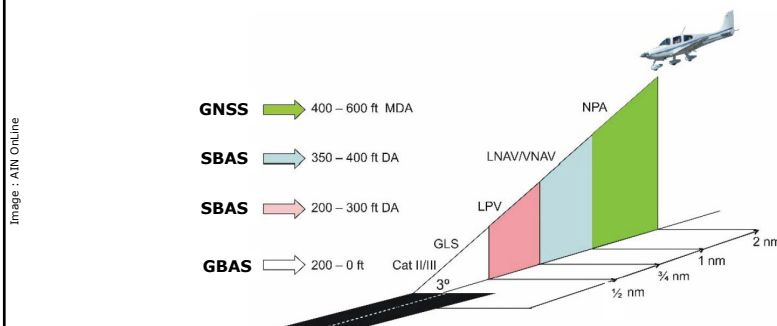
Document à des fins de formation

28

Approches LPV

Généralités

- On peut définir plusieurs sortes d'approches selon la précision : approches de non précision (NPA), approches avec guidages latéral et vertical (LNAV/VNAV) et LPV.



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

29

Approches LPV

Pour les hélicoptères



- En septembre 2013, l'hélicoptère d'Eurocopter situé à Donauwörth a été le premier à permettre des approches LPV destinées aux hélicoptères avec le SBAS EGNOS.
- Ceci permet l'amélioration des conditions d'accès aux hélicoptères (ex. hôpitaux, plateformes de forage en mer, etc.)

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

30

Approches LPV

Approches LPV au GPS

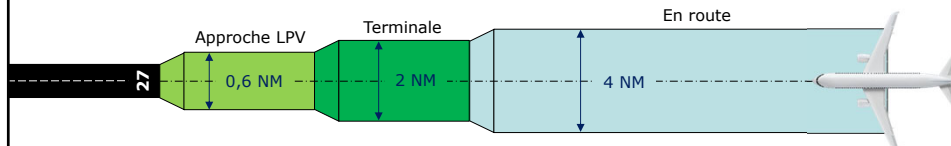
Images : King & Dépt. d'avionique



- La sensibilité de la déviation (XTK) de la CDB du CDI ou du HSI connecté au GPS évoluera au cours du vol afin d'avoir une appréciation équivalente à celle du Localizer :

Phase de vol :	Sensibilité (*) :	NM / dot :
En route	2 NM	0,4 NM / dot
Terminale	1 NM	0,2 NM / dot
Approche LPV	0,3 NM	0,06 NM / dot

(*) Déflexion maximale de la CDB d'un bord.



- Le guidage vertical s'effectue avec l'HDB sur le CDI ou le HSI.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

31



Photo © Pierre GILLARD/2019-622810

Merci de votre attention

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

32