

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse



**Le système ILS**  
Instrument Landing System

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

Avant de débuter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

Présentation du cours



- Introduction.
- Approche et atterrissage.
- Principe du système ILS.
- Constitution du système ILS.
- Instruments de guidage du pilote.
- Procédure d'approche et d'atterrissage.
- Les catégories d'ILS.
- Fiabilité de l'ILS.
- Vérification et test du système ILS embarqué.
- Autres systèmes d'aide à l'atterrissage.
- Conclusions.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

Introduction



- Depuis que l'aviation existe, les concepteurs ont toujours essayé de repousser les limites d'exploitation des aéronefs.
- C'est ainsi que le vol aux instruments permettant de voler dans (presque) toutes les conditions climatiques a été développé.
- Une composante importante de ce type de vol (IFR) est le dispositif permettant l'atterrissage sans visibilité : le système ILS : Instrument Landing System.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

Introduction



- Le système ILS fournit des informations précises au pilote sur :
  - Le plan d'alignement de l'axe de piste.
  - Le plan de descente vers la piste.
  - L'éloignement de la piste.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

Approche et atterrissage



- Autant que possible, un atterrissage doit s'effectuer face au vent.
- La piste la plus appropriée sera choisie compte tenu du vent, des caractéristiques de l'avion, des conditions de la piste et des aides à l'atterrissage disponibles.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

Approche et atterrissage

- Les pistes sont numérotées en dizaines de degrés magnétiques arrondis.
- Ainsi, une piste orientée suivant 243° magnétiques sera nommée « 24 ».
- Dans la direction opposée, elle s'appellera « 06 » car correspondant à 63°.



Il doit toujours y avoir une différence de 18 correspondant à 180°

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

Approche et atterrissage

- Dans le cas de pistes parallèles, on les désignera « gauche » et « droite ».

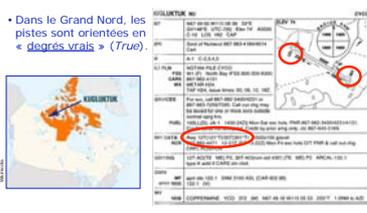


© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

Approche et atterrissage

- Dans le Grand Nord, les pistes sont orientées en « degrés vrais » (True).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Approche et atterrissage**

• Pour les avions **VER**, l'approche s'effectuera « à vue » avec l'aide éventuelle d'un dispositif VASI, PAPI ou ILS.

**VASI :**  
Visual Approach Slope Indicator

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Approche et atterrissage**

• Pour les avions **VER**, l'approche s'effectuera « à vue » avec l'aide éventuelle d'un dispositif VASI, PAPI ou ILS.

**PAPI :**  
Precision Approach Path Indicator

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Approche et atterrissage**

• **PAPI de la piste 30 à CYOB :**

• **PAPI de la piste 24R à CYHU :**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Approche et atterrissage**

• Pour les avions **IFR**, l'approche s'effectuera avec l'**ILS** ou le **MLS**.

- ILS signifie « Instrument Landing System ».
- MLS signifie « Microwave Landing System ».

• Avant d'atteindre le **point d'interception de l'ILS**, l'avion sera guidé suivant un cheminement déterminé en prenant référence sur des balises au sol (ADF, DME, TACAN et VOR) ou des satellites (GPS/WAAS ou Galileo).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Approche et atterrissage**

**Carte « En Route Low Altitude »**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Approche et atterrissage**

« Canada Air Pilot » : carte d'approche IFR pour CYUL

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**

• Le système ILS est composé de **quatre éléments** principaux :

- Le **Localizer (LOC)** permettant le centrage avec l'axe de la piste.
- Le **Glide Slope (GS)** permettant de suivre le plan de descente.
- Les **Marker Beacons** ou radiobalises (MKR ou MB) permettant de déterminer une distance par rapport au seuil de piste.
- Les **lumières** d'approche et de piste.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**

**Le Localizer (LOC)**

• Le Localizer indique au pilote la dérive par rapport au prolongement de l'axe de piste.

• L'aiguille verticale (CDB) de l'indicateur (CDI) indiquera la direction à prendre pour rejoindre le prolongement de l'axe de piste.

• Les fréquences s'étendent de 108.10 MHz à 111.95 MHz avec les dixièmes de MHz impairs.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**

**Le Localizer (LOC)**

• Une fois la fréquence LOC **syntonisée** et **vérifiée** (signal audio), le pilote n'aura plus qu'à suivre son indicateur :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**  
**Le Localizer (LOC)**

- **Principe technique** : émission de deux faisceaux, l'un à 90 Hz, l'autre à 150 Hz.
- Le récepteur mesure la **différence de profondeur de modulation (DDM)**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**  
**Le Glide Slope (GS)**

- Le **Glide Slope** indique au pilote la dérive par rapport à la  **pente**  l'amenant à la piste.
- L'aiguille horizontale (HDB) de l'indicateur (CDI) indiquera la **direction à prendre** pour rejoindre la pente.
- Les fréquences s'étendent de 329.15 MHz à 335.00 MHz et sont  **couplées aux fréquences LOC** .

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**  
**Le Glide Slope (GS)**

- Une fois la fréquence **LOC** syntonisée et vérifiée, le pilote n'aura plus qu'à suivre son indicateur :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**  
**Le Glide Slope (GS)**

- **Principe technique** : émission de deux faisceaux, l'un à 90 Hz, l'autre à 150 Hz.
- Le récepteur mesure la **différence de profondeur de modulation (DDM)** entre le 90 Hz et le 150 Hz.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**  
**Les Marker Beacons (MKR)**

- Les **Markers Beacons (MKR ou MB)** ou radiobornes sont situées à **des distances bien précises du seuil de piste**.
- Les radiobornes allument un **torçoin** et génèrent une **tonalité audio distincte** lorsque l'avion passe dans le faisceau d'une balise.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**  
**Les Marker Beacons (MKR)**

- La fréquence de toutes les balises est de **75 MHz**.
- Chacune est **modulée** par un **signal audio** différent.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Principe du système ILS**  
**Les Marker Beacons (MKR)**

OM	---	Bleu	400 Hz	4 à 7 NM, point d'interception GS à l'aiguille publiée.
MM	----	Ambre	1300 Hz	3500 ft, DH d'environ 200 ft (CAT I)
IM	-----	Blanc	3000 Hz	1000 ft, DH d'environ 100 ft (CAT II)
BC	-----	Blanc		

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Constitution du système ILS**  
**Fréquences utilisées**

- Le système LOC utilise **40 canaux** entre **108.10 MHz** et **111.95 MHz**
- L'**espace** entre les canaux est de **50 KHz**.
- Les 40 canaux sont **répartis** de la manière ci-contre :

**De 108.10 MHz à 111.95 MHz, les canaux LOC occupent les fréquences au dixième de mégahertz pair.**

**La fréquence UHF du GS (329.15 MHz à 335.00 MHz) est sélectionnée de manière interne dans le récepteur.**

108.00 MHz canal VOR	108.05 MHz canal VOR	108.10 MHz canal LOC	108.15 MHz canal LOC	108.20 MHz canal VOR	108.25 MHz canal VOR	108.30 MHz canal LOC	...	111.95 MHz canal LOC	112.00 MHz canal VOR	112.05 MHz canal VOR	112.10 MHz canal VOR	112.15 MHz canal VOR	...	117.95 MHz canal VOR
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----	----------------------

© Département d'avionique Document à des fins de formation

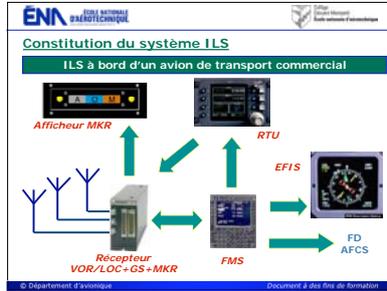
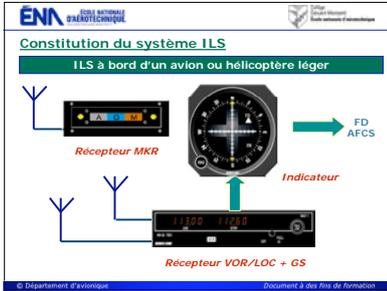
**Constitution du système ILS**  
**Structure du système ILS embarqué**

```

    graph LR
        subgraph VHF
            R1[Recepteur VHF de navigation (NAV)]
            R2[Recepteur VHF de radiobornes (MKR)]
        end
        subgraph UHF
            R3[Recepteur UHF de radiopente (GS)]
        end
        C1[Convertisseur de radioalignement latéral]
        C2[Convertisseur de radiopente]
        C3[Convertisseur de radiobornes]
        I1[Indicateur de radioalignement latéral]
        I2[Indicateur de radiopente]
        I3[Indicateur de radiobornes]

        R1 --> C1
        R2 --> C3
        R3 --> C2
        C1 --> I1
        C2 --> I2
        C3 --> I3
    
```

© Département d'avionique Document à des fins de formation



**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

### Constitution du système ILS

#### Antennes de réception

- En général, il n'y aura qu'une seule antenne pour chaque système : NAV, GS et MKR.
- Pour alimenter les différents récepteurs, des diplexeurs sont utilisés.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

### Constitution du système ILS

#### Antennes de réception

- Sur les aéronefs légers VFR effectuant de l'entraînement IFR, on peut utiliser un diplexeur, un triplexeur ou un quadriplexeur permettant de connecter les récepteurs NAV et GS à une seule antenne NAV.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

### Constitution du système ILS

#### Installations au sol

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

### Instruments de guidage du pilote

- Pour guider le pilote lors d'une approche ILS, plusieurs systèmes existent :
- Indicateur VOR-ILS
- HSI ou mode HSI sur le Navigation Display ou le Multi Function Display.
- Barres du directeur de vol (« Flight Director ») si le mode ILS est actif sur l'ADI ou le Primary Flight Display.
- Barres du directeur de vol (« Flight Director ») sur le HUD (« Head-Up Display System ») du HGS (« Head-Up Guidance System »).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

### Instruments de guidage du pilote

- Pour guider le pilote lors d'une approche ILS, plusieurs systèmes existent :

Indicateur VOR-ILS HSI

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

### Instruments de guidage du pilote

- Pour guider le pilote lors d'une approche ILS, plusieurs systèmes existent :

FD en mode « LOC + APPR »

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

### Instruments de guidage du pilote

- Pour guider le pilote lors d'une approche ILS, plusieurs systèmes existent :

HUD du HGS

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

### Instruments de guidage du pilote

- Pour guider le pilote lors d'une approche ILS, plusieurs systèmes existent :

HUD du HGS

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

### Instruments de guidage du pilote

- Peu importe le système d'affichage, ils donneront tous les informations suivantes :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Instruments de guidage du pilote**

Dans tous les cas aussi, il faut suivre les indications données par les aiguilles

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Instruments de guidage du pilote**

**Indications du Localizer (LOC)**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Instruments de guidage du pilote**

**Indications du Glide Slope (GS)**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Instruments de guidage du pilote**

**Indications des Marker Beacons (MKR)**

La **radioborne extérieure - OM (Outer Marker)** est placée à environ **5 NM** de la piste et émet un signal modulé par une fréquence de **400 Hz** (tonalité grave) constituant un code Morse formé d'une **série de traits continus**

La **radioborne intermédiaire - MM (Middle Marker)** est placée à **0,3 NM** de la piste et émet un signal modulé par une fréquence de **1300 Hz** constituant un code Morse formé d'une **série de traits et des points alternatifs**

La **radioborne intérieure - IM (Inner Marker)** est placée à **0,3 NM** de la piste et émet un signal modulé par une fréquence de **2000 Hz** (tonalité aigue) constituant un code Morse formé d'une **série de points continus**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Procédure d'approche et d'atterrissage**

**Définitions**

• **Altitude de décision (DH)** : hauteur par rapport au sol à laquelle, en l'absence de contact visuel avec la piste, le pilote devra effectuer une remise de gaz (« Go Around »).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Procédure d'approche et d'atterrissage**

**Définitions**

• **RVR - « Runway Visual Range »** :  
 • Lorsque la visibilité est inférieure à 4500 ft (1500 m), un observateur ira déterminer la RVR d'une piste en particulier.  
 • Il comptera le nombre de lampes de bord de piste visibles et traduira le résultat obtenu en distance.  
 • Plusieurs relevés peuvent être effectués le long de la piste et communiqués aux pilotes.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Procédure d'approche et d'atterrissage**

**Définitions**

• **RVR - « Runway Visual Range »** :  
 • Actuellement, les systèmes de mesure sont automatisés.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Procédure d'approche et d'atterrissage**

**Étapes d'une approche ILS**

- Navigation aux instruments en vue d'atteindre le **point d'interception de l'ILS**
- Interception du **Localizer**
- Interception du **Glide Slope**
- Vérification de la position avec les **Markers Beacons**
- Altitude de décision**
- Atterrissage ou remise de gaz**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Procédure d'approche et d'atterrissage**

**Étapes d'une approche ILS**

• En cas de **remise de gaz**, on effectue un **gloignement** selon la **prolongation de l'axe de piste** avant de reprendre la **navigation** en vue d'une **nouvelle approche** ou d'une **diversion**.

• Dans le cas d'une telle procédure en **gloignement**, le pilote doit corriger sa trajectoire selon les **indications du Localizer**

• Le **Glide Slope** est **non fonctionnel**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Procédure d'approche et d'atterrissage**  
**Étapes d'une approche ILS**

- Si une piste est équipée d'un ILS que dans une seule direction il est malgré tout possible d'effectuer une approche en Back Course à l'aide du Localizer dans l'autre direction.

90 Hz  
 150 Hz

- Dans le cas d'un rapprochement en Back Course, le pilote devra corriger sa trajectoire dans le sens opposé des indications du Localizer.
- Idem en éloignement.
- Le Glideslope est non fonctionnel.

**Procédure d'approche et d'atterrissage**  
**Autres systèmes utilisés avec l'ILS**

- Radioaltimètre :**

**Procédure d'approche et d'atterrissage**  
**Autres systèmes utilisés avec l'ILS**

- DME-Distance Measurement Equipment :**

**Procédure d'approche et d'atterrissage**  
**Autres systèmes utilisés avec l'ILS**

- ADF-Automatic Direction Finder :**

Cap Nord

**Utilisation du NDB pour intercepter l'ILS**

**Procédure d'approche et d'atterrissage**  
**Autres systèmes utilisés avec l'ILS**

- Le directeur de vol (FD) et le pilote automatique (AFCS) :**

Capteurs : ALT, ASI, HDG, NAV, IRS, ...

FD AFCS Computer

Réponse aérodynamique

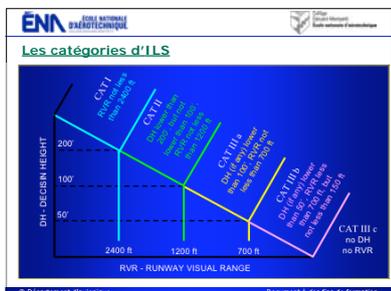
Pilote automatique

Commandes de vol

**Les catégories d'ILS**

- Il existe plusieurs catégories d'ILS classés suivant les conditions minimales d'atterrissage :

	DH	RVR	Remarques
CAT I	200 ft	2400 ft	
		1800 ft	Avec éclairage de la zone de toucher et de la ligne centrale de piste.
CAT II	100 ft	1200 ft	
CAT IIIa	< 100 ft	700 ft	
CAT IIIb	< 50 ft	150 ft ≤ RVR < 700 ft	
CAT IIIc	Pas de DH	Pas de RVR	



**Les catégories d'ILS**

- Seuls quelques grands aéroports sont certifiés CAT III.
- La majorité des aéroports internationaux disposent d'ILS CAT II.
- Sur un aéroport comportant plusieurs pistes, souvent une seule piste ou quelques unes sont équipées d'ILS CAT II ou CAT III.

Piste :	ILS :	Piste :	ILS :
06 L	CAT II	24 R	CAT I
06 R	CAT I	24 L	CAT I
10	CAT I	28	-

**Les catégories d'ILS**

- Les critères de calibrage des installations ILS sont très stricts, les tolérances se réduisant avec la catégorie.
- La certification et la calibration des équipements ILS sur l'aéronef requiert des compétences liées à chaque catégorie.
- Pour être certifié en CAT II ou CAT III, il est nécessaire :
  - De disposer des équipements nécessaires, ayant la précision requise et calibrés.
  - De disposer du personnel qualifié.
  - De pouvoir effectuer des tests en vol.
- De plus, il est nécessaire d'avoir les compétences et les qualifications pour les systèmes connexes :
  - Pilote automatique et directeurs de vol
  - Radioaltimètre

**La fiabilité de l'ILS**



- Le *Glide Slope* est probablement le composant le plus critique de l'ILS.
- Il existe plusieurs cas d'accidents et d'incidents liés au *Glide Slope*.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**La fiabilité de l'ILS**



- Il est important pour le pilote de vérifier l'état des flags (drapeaux).
- Ceux-ci vont indiquer une éventuelle défectuosité du Localizer ou du Glide Slope.
- Même si les flags sont cachés, il faut demeurer vigilant.
- Il faut valider les informations de l'ILS avec d'autres équipements (DME et altimètre, notamment).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**La fiabilité de l'ILS**

- Plusieurs incidents et accidents ont déjà eu lieu à cause d'indications d'ILS erronées.
- Dans beaucoup de cas, la vigilance de l'équipage a permis de constater le problème avant qu'un accident ne se produise (« Cross Checks »).
- Malheureusement, il y a eu d'autres cas où l'équipage ne s'est aperçu de rien ou trop tard...

Article de Boeing



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Vérification et test du système ILS embarqué**

- Le système ILS sera testé, en général, à l'aide des mêmes équipements que ceux requis pour le VOR.
- Il existe des appareils de test pour effectuer les vérifications sur l'aéronef (Ramp Test) et il en existe d'autres pour faire les tests en laboratoire (Bench Test).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Vérification et test du système ILS embarqué**

**Localizer (LOC)**

- Vérification de l'exactitude de la deflexion latérale :
- Vérification de l'apparition du drapeau « NAV » en cas de disparition du 90 Hz ou du 150 Hz :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Vérification et test du système ILS embarqué**

**Glide Slope (GS)**

- Vérification de l'exactitude de la deflexion verticale :
- Vérification de l'apparition du drapeau « GS » en cas de disparition du 90 Hz ou du 150 Hz :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Vérification et test du système ILS embarqué**

**Marker Beacon (MKR)**

- Vérification de l'indication des lampes.
- Vérification des signaux audio.
- Vérification de la sensibilité.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Autres systèmes d'aide à l'atterrissage**

**GCA et Precision Approach Radar**



- Le système GCA est basé sur le principe du guidage par deux faisceaux d'un radar d'approche de précision.
- C'est un contrôleur qui guide le pilote en fonction des écarts constatés sur son écran.
- Il s'agit d'un système militaires.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Autres systèmes d'aide à l'atterrissage**

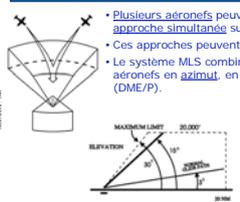
**Le système MLS (Microwave Landing System)**



- Le MLS est un système radar fixe à réseau de phase.
- Il fonctionne sur 200 canaux répartis entre 5031 MHz et 5091 MHz.
- Sa conception initiale remonte à la fin des années septante.
- Il est plus performant, plus fiable, plus précis, moins encombrant et plus facile à maintenir en œuvre que l'ILS.
- Pourtant, il n'a pas remplacé l'ILS...

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Autres systèmes d'aide à l'atterrissage**  
**Le système MLS (Microwave Landing System)**



- Plusieurs aéronefs peuvent effectuer une approche simultanée sur des routes différentes.
- Ces approches peuvent être courbées.
- Le système MLS combine un positionnement des aéronefs en azimut, en elevation et en distance (DME/P).

© Département d'aviation Document à des fins de formation

**Autres systèmes d'aide à l'atterrissage**  
**Les systèmes de guidage par satellites**



- Le système GPS est devenu le système de navigation par satellites par excellence.
- Toutefois, utilisé seul, sa précision n'est pas suffisante pour effectuer des atterrissages de précision.
- Le LAAS-Local Area Augmentation System a été développé pour pouvoir effectuer des atterrissages à l'aide d'un GPS différentiel.

• Ce système est, toutefois, très onéreux à mettre en oeuvre et semble abandonné.

© Département d'aviation Document à des fins de formation

**Autres systèmes d'aide à l'atterrissage**  
**Les systèmes de guidage par satellites**

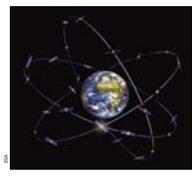
**Wide Area Augmentation System**




- Par contre, le système WAAS-Wide Area Augmentation System est fonctionnel et permet d'effectuer des approches de précision en conjonction avec le GPS.
- Le principe consiste à mesurer les erreurs du GPS pour une région donnée et à envoyer des signaux de correction via le système WAAS.
- Le WAAS est géré par la FAA.
- Les deux satellites géostationnaires du WAAS sont Galaxy 15 et Anik F1R.

© Département d'aviation Document à des fins de formation

**Autres systèmes d'aide à l'atterrissage**  
**Les systèmes de guidage par satellites**



- Le système européen Galileo devrait, à terme, devenir l'alternative à beaucoup de systèmes de navigation, dont l'ILS.
- La précision prévue permettrait d'effectuer des atterrissages CAT IIIc.
- L'avantage principal de Galileo est qu'il s'agit d'un système entièrement civil.

© Département d'aviation Document à des fins de formation

**Conclusions**



- Le système ILS demeurera encore en usage probablement au cours des 20 prochaines années au moins.
- Le système MLS (Microwave Landing System) ne s'est pas imposé comme successeur de l'ILS bien que plus performant.
- Les techniciens en aviation doivent être très rigoureux lors des tests des équipements ILS, car ils jouent avec la vie de milliers de personnes.
- L'ILS commence à être en voie de disparition grâce aux approches RNAV rendues possibles avec les systèmes SBAS-Satellite-based Augmentation Systems.

© Département d'aviation Document à des fins de formation

**Autres systèmes d'aide à l'atterrissage**  
**Les systèmes de guidage par satellites**



**Merci de votre attention**

© Département d'aviation Document à des fins de formation