

 **INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II**  
FILIERE DE FORMATION EN TOPOGRAPHIE 

## **GEOREFERENCEMENT DIRECT DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES PAR GPS/INS**

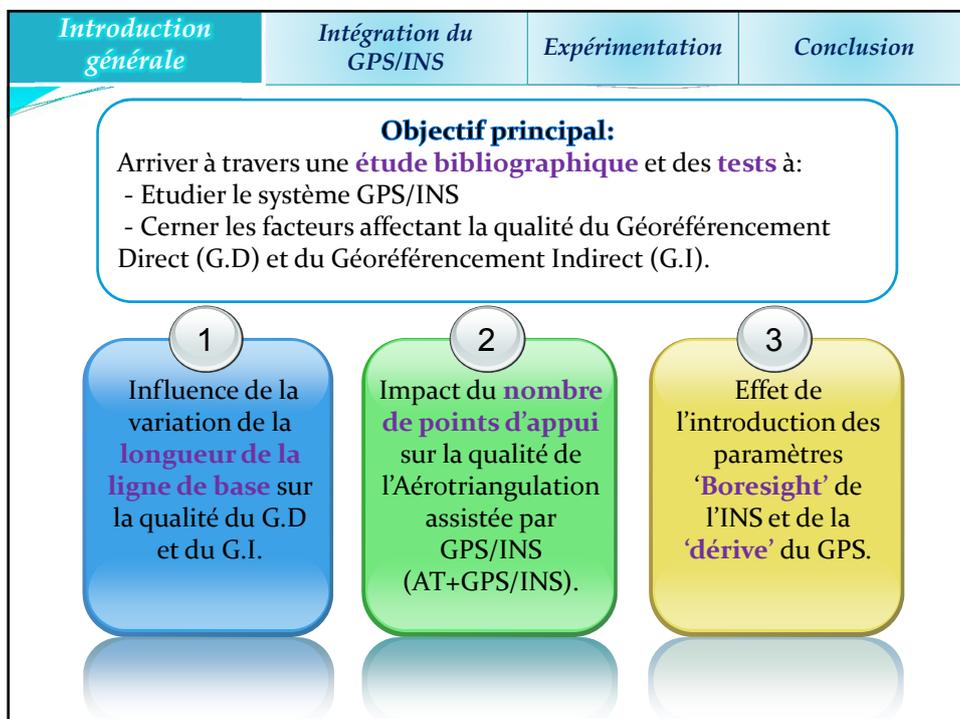
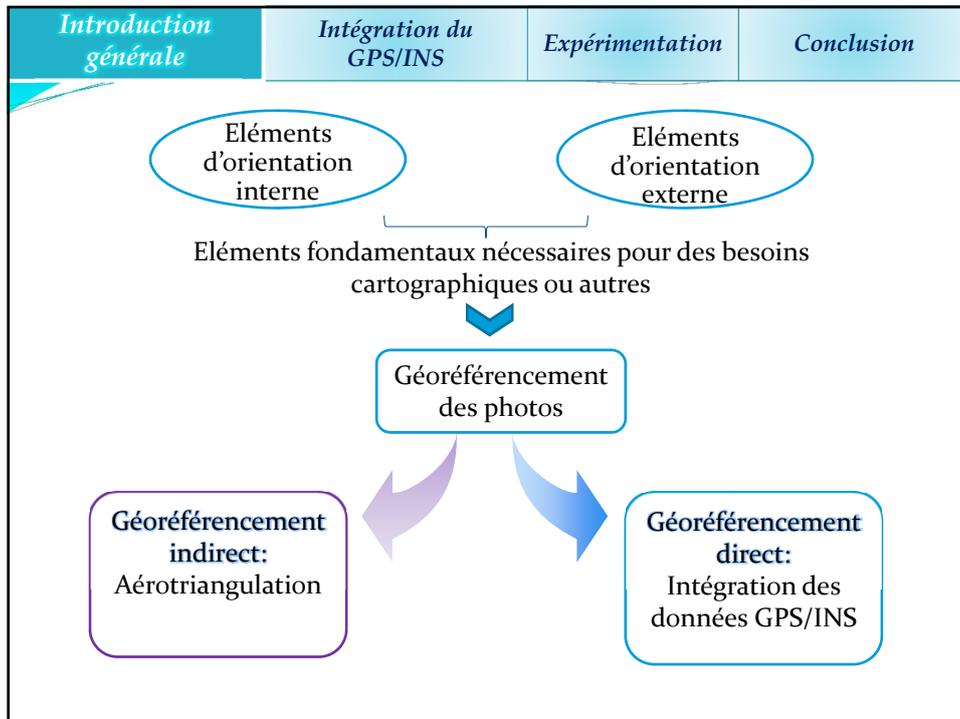
---



*Par:*  
Mlle Ettarid Sanae  
Mme El Messati Bochra  
Pr. O.M.Cherkaoui

# Plan

- INTRODUCTION GENERALE**
- INTEGRATION DU GPS/INS**
  - Principe de navigation par GPS
  - Principe de l'INS
  - Intégration du GPS/INS en photogrammétrie aérienne
  - Calibrage du système
- EXPERIMENTATION**
  - Matériel, logiciels et données tests
  - Méthodologie suivie
  - Résultats et interprétations
- CONCLUSION**

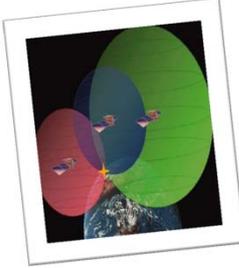


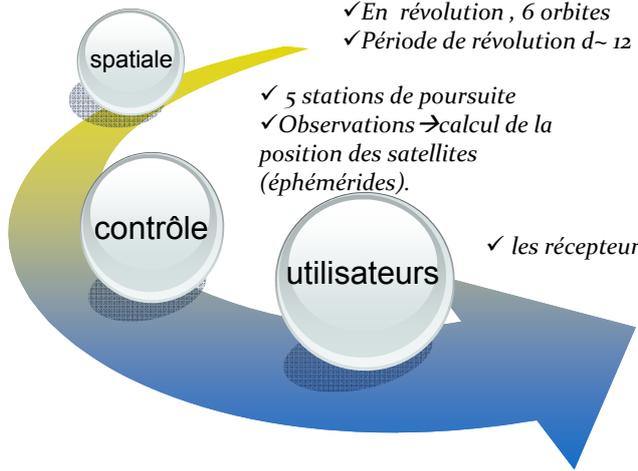
Introduction générale	<b>Intégration du GPS/INS</b>	Expérimentation	Conclusion
-----------------------	-------------------------------	-----------------	------------

### 1. Principe de navigation par GPS

- ✓ 24 satellites
- ✓ En révolution, 6 orbites
- ✓ Période de révolution d~ 12 h

- ✓ 5 stations de poursuite
- ✓ Observations → calcul de la position des satellites (éphémérides).

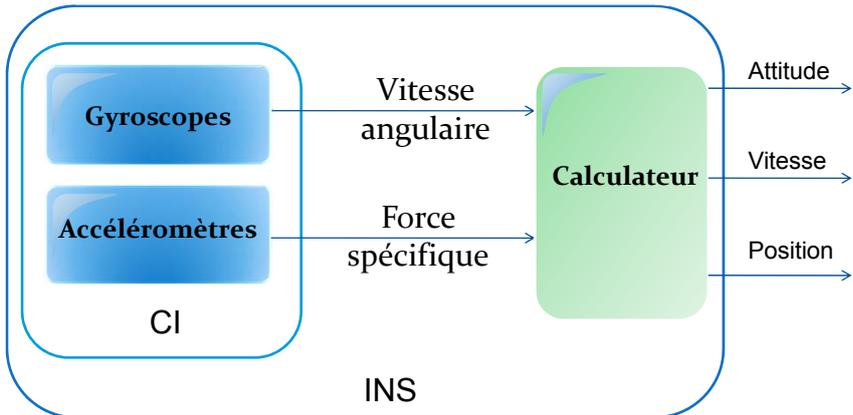




✓ les récepteurs

Introduction générale	<b>Intégration du GPS/INS</b>	Expérimentation	Conclusion
-----------------------	-------------------------------	-----------------	------------

### 1. Principe du système inertiel de navigation (INS)



Introduction générale	<b>Intégration du GPS/INS</b>	Expérimentation	Conclusion
-----------------------	-------------------------------	-----------------	------------

**4. Intégration du GPS/INS en photogrammétrie aérienne**

**- Principe du géoréférencement direct (espace image → espace objet)**

$$r_p^m = r_{GPS/INS}^m(t) + R_b^m(t)(sR_i^b r_p^i - a_1^b - a_2^b)$$

Introduction générale	<b>Intégration du GPS/INS</b>	Expérimentation	Conclusion
-----------------------	-------------------------------	-----------------	------------

**- Principe de l'aérotriangulation assistée par GPS/INS**

$$x' + V_x = (x'_0 + dx'_0) - (f + df) * \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + dx'$$

$$y' + V_y = (y'_0 + dy'_0) - (f + df) * \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + dy'$$

-  $x', y', V_x, V_y'$  : Coordonnées images résiduels correspondants.

-  $X, Y, Z$  : Coordonnées objet dans le système (orthogonal) des coordonnées terrain.

- Orientation extérieure :  
 $X_0, Y_0, Z_0$  : Position du centre de projection dans l'espace objet.  
 $r_{ik}$  : Eléments de la matrice de rotation  $R(\omega, \phi, \kappa)$  entre l'espace image et l'espace objet.

- Orientation interne :  
 $x'_0, y'_0$  : Coordonnées images du point principal  
 $dx'_0, dy'_0$  : Corrections du point principal  
 $f$  : focale calibrée  
 $df$  : Correction de la focale  
 $dx', dy'$  : Effet des paramètres additionnels.

Introduction générale	Intégration du GPS/INS	Expérimentation	Conclusion et recommandations
-----------------------	------------------------	-----------------	-------------------------------

## 5. Calibrage du système



Calibrage

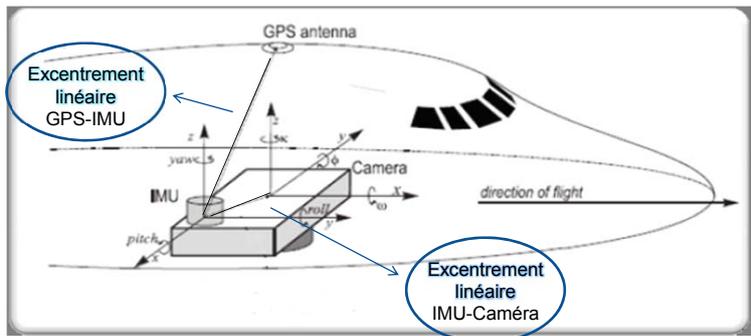
1. Calibrage individuel des capteurs

- ✓ La caméra de prise de vue .
- ✓ L'INS ( erreurs estimées par 1 filtre de Kalman ou déterminées par le constructeur ) .

2. Calibrage entre capteurs

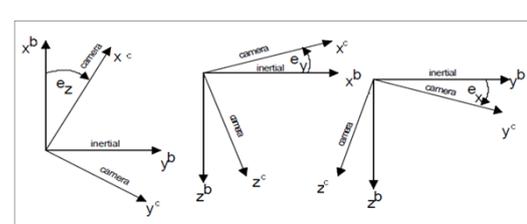
- ✓ Les excentremets linéaires .
- ✓ Les excentremets angulaires entre les référentiels liés à chaque capteur .

Introduction générale	Intégration du GPS/INS	Expérimentation	Conclusion et recommandations
-----------------------	------------------------	-----------------	-------------------------------



**Défaut d'alignement Boresight:**

$$\bar{R}_b^i = \begin{bmatrix} 1 & \bar{e}_z & -\bar{e}_y \\ -\bar{e}_z & 1 & \bar{e}_x \\ \bar{e}_y & -\bar{e}_x & 1 \end{bmatrix}$$



Introduction générale	Intégration du GPS/INS	Expérimentation	Conclusion
<p><b>1. Matériel, logiciels et données test</b></p>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;">  <p><b>Matériel</b></p> </div> <div style="width: 80%; border: 1px solid blue; border-radius: 15px; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- INS à axes liés (strapdown INS) de type IMAR.</li> <li>- <b>Caméra</b> argentique de type Leica RC30.</li> <li>- <b>GPS</b> aéroporté bi-fréquence de marque Novatel Millenium</li> <li>- <b>Avion</b> photographe King R350.</li> <li>- 12 <b>stations</b> GPS permanentes éparpillées sur le sol marocain.</li> </ul> </div> </div>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;">  <p><b>Logiciels</b></p> </div> <div style="width: 80%; border: 1px solid purple; border-radius: 15px; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ORIMA</li> <li>- GrafNav</li> <li>- IPAS</li> <li>(+ quelques logiciels comme Morgeo et Geographic Calculator)</li> </ul> </div> </div>			

Introduction générale	Intégration du GPS/INS	Expérimentation	Conclusion
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;">  <p><b>Données</b></p> </div> <div style="width: 80%; border: 1px solid red; border-radius: 15px; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Bloc de photographies aériennes: (zone khouribga)</b></li> <li>- 23 lignes de vol: directions EO/OE et 1 ligne SN.</li> <li>- 671 photographies à une échelle de 1/20 000.</li> <li>- 26 points d'appui.</li> <li>- 5 jours de mission.</li> <li>- <b>-Données relatives à la prise de vue aérienne:</b></li> <li>- Données GPS/INS extraits de l'avion</li> <li>- Données GPS issus des stations permanentes terrestres.</li> <li>- Excentricités linéaires et angulaires</li> </ul> </div> </div>			

Introduction générale	Intégration du GPS/INS	Expérimentation	Conclusion
-----------------------	------------------------	-----------------	------------

**2. Méthodologie suivie**

**-TEST 1: Impact de la variation de la longueur de la ligne de base sur la qualité du G.D. et du G.I.**

Choix des stations permanentes à utiliser

Etude de:  
- la précision d'ajustement  
- la précision absolue

Introduction générale	Intégration du GPS/INS	Expérimentation	Conclusion et recommandations
-----------------------	------------------------	-----------------	-------------------------------

**-TEST 2: Impact de la variation du nombre des points d'appui sur la qualité de l'AT+GPS/INS**

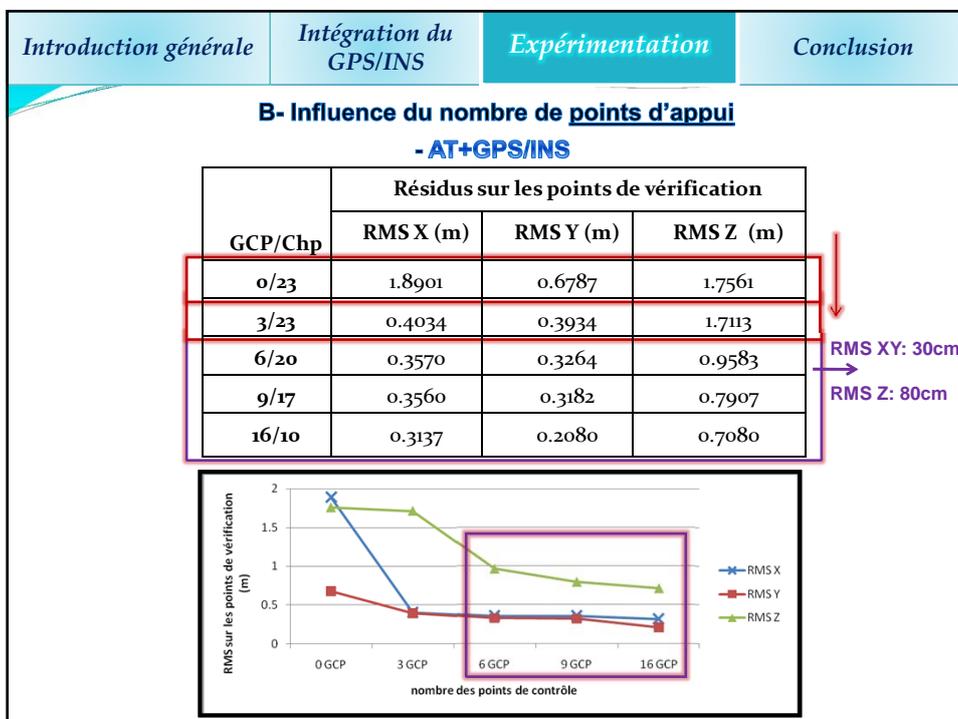
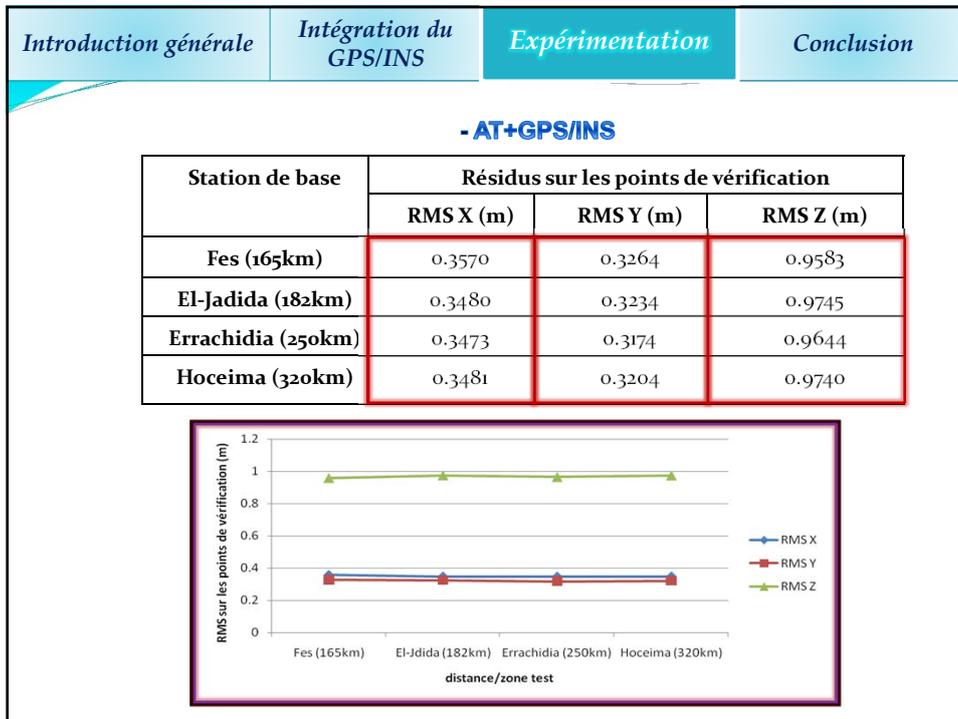
Données GPS et INS issues de la station 'Fès'

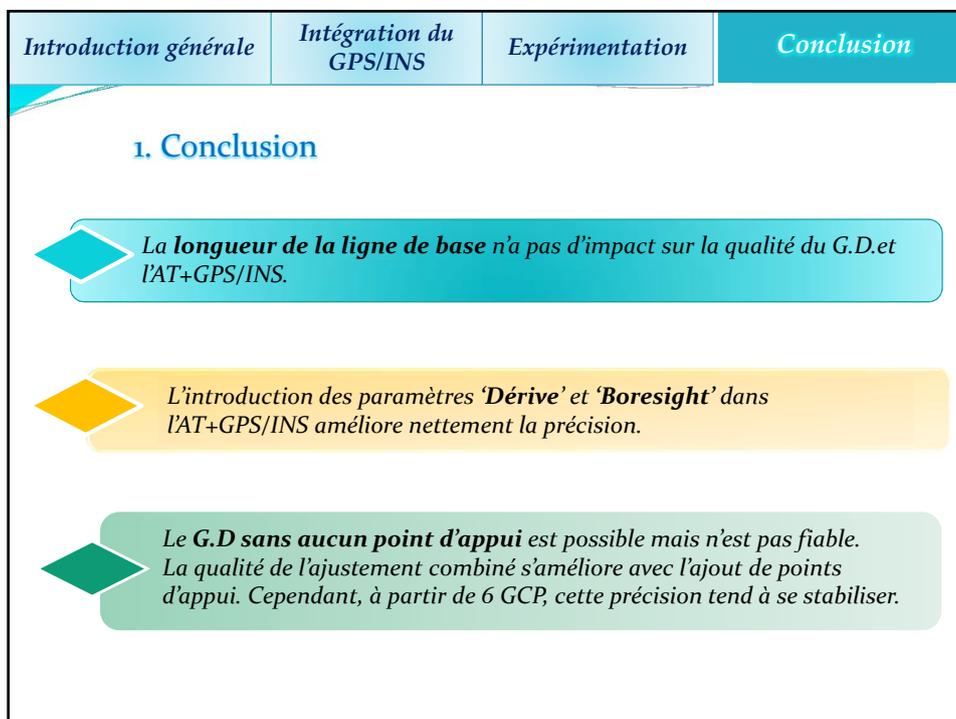
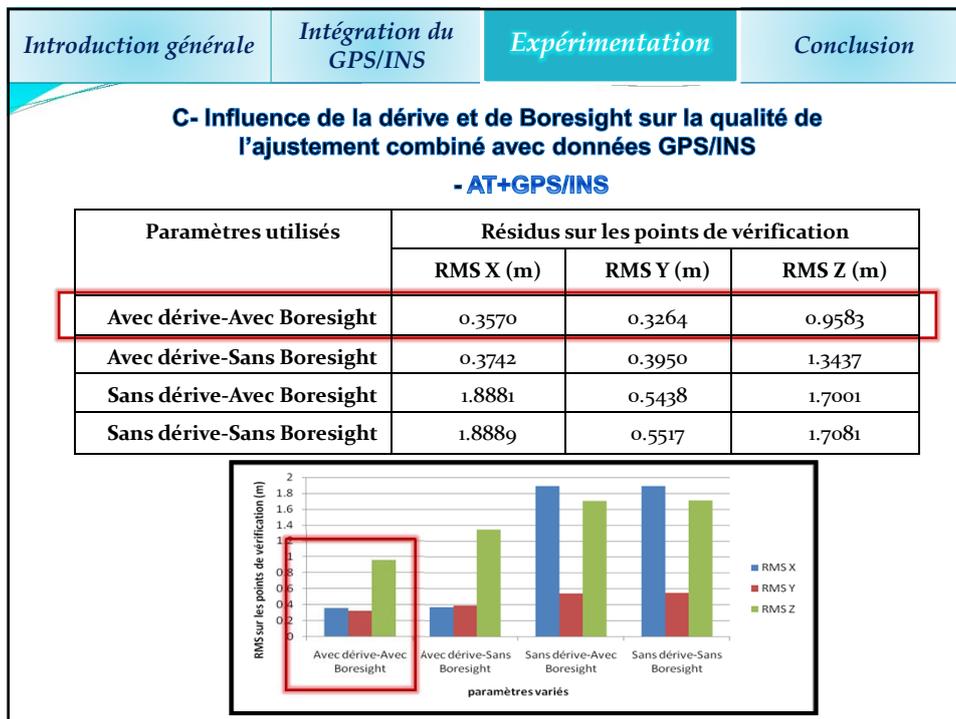
AT+GPS/INS

26  
16  
9  
6  
3  
0

Etude de:  
- la précision d'ajustement  
- la précision absolue









الجمهورية المغربية  
المعهد الوطني للزراعة والبيطرة  
البيطرة بـ الرباط

INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II  
FILIERE DE FORMATION EN TOPOGRAPHIE



## GEOREFERENCEMENT DIRECT DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES PAR GPS/INS

---



*Par:*  
Mlle Ettarid Sanae  
Mme El Messati Bochra  
Pr. O.M.Cherkaoui

Introduction générale	Intégration du GPS/INS	Expérimentation	Conclusion									
<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; display: inline-block;">3. GPS et INS: Deux systèmes complémentaires</div>												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #00796b; color: white;"> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 35%;">Avantages</th> <th style="width: 35%;">Inconvénients</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">GPS</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Précision à long terme</li> <li>-Position absolue</li> <li>-Conditions opérationnelles</li> <li>- Prix abordable</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Fréquence d'échantillonnage faible</li> <li>-Mauvaise précision en z.</li> <li>-Absence d'information d'orientation.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">INS</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Haut débit de données.</li> <li>-Haute disponibilité</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte dérive.</li> <li>- Sensibilité à la gravité.</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>					Avantages	Inconvénients	GPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Précision à long terme</li> <li>-Position absolue</li> <li>-Conditions opérationnelles</li> <li>- Prix abordable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fréquence d'échantillonnage faible</li> <li>-Mauvaise précision en z.</li> <li>-Absence d'information d'orientation.</li> </ul>	INS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Haut débit de données.</li> <li>-Haute disponibilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte dérive.</li> <li>- Sensibilité à la gravité.</li> </ul>
	Avantages	Inconvénients										
GPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Précision à long terme</li> <li>-Position absolue</li> <li>-Conditions opérationnelles</li> <li>- Prix abordable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fréquence d'échantillonnage faible</li> <li>-Mauvaise précision en z.</li> <li>-Absence d'information d'orientation.</li> </ul>										
INS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Haut débit de données.</li> <li>-Haute disponibilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte dérive.</li> <li>- Sensibilité à la gravité.</li> </ul>										
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="color: #00796b; font-size: 2em;">↻</div> <div style="border: 1px solid #00796b; border-radius: 15px; padding: 10px 20px; background-color: #e0f2f1;">                     La complémentarité des 2 systèmes                 </div> <div style="color: #00796b; font-size: 2em;">↻</div> </div>												

Introduction générale	Intégration du GPS/INS	Expérimentation	Conclusion et recommandations
<p data-bbox="464 465 1126 568">Intégration GPS/INS dans la photogrammétrie aérienne → gain considérable de temps et d'argent</p> <p data-bbox="464 622 1126 775"><b>Partout dans le monde</b> Etudes &amp; expérimentations faites pour pouvoir bien maîtriser cette méthode</p> <p data-bbox="464 831 1126 985"><b>Au Maroc</b> -Cabinets privés qui utilisent ce système: rares -Etudes &amp; publications: presque inexistantes</p>			

Introduction générale	Intégration du GPS/INS	Expérimentation	Conclusion et recommandations
<p data-bbox="411 1285 1262 1402">  (~un an): acquisition d'1 avion spécial équipé de GPS et INS + logiciels de traitement des données brutes.         </p> <p data-bbox="528 1458 564 1485">OR</p> <p data-bbox="584 1496 1249 1619">  -Techniques d'utilisation du système GPS/INS - Calibrage de ces capteurs         </p> <p data-bbox="533 1653 588 1680">D'où</p> <p data-bbox="584 1720 1249 1843">Nécessité d'approfondir les aspects relatifs à une connaissance parfaite du système pour une utilisation optimale.</p>			