

# training 2013

*4-7 Juin, Toulouse*

# Le Logiciel



# LE LOGICIEL GINS: Historique

---

- **~1970 Naissance**
- **1994 Multi satellite ( GPS)**
- **1997 Portage en Fortran 90**
- **1997 Gestion en configuration**
- **1999 Élargissement au cas planétaire**
- **2000 Portage sur différentes machines (Sun, Dec/Alpha ...)**
- **2006 Portage sur PC-Linux**
- **2007 GINS-PC**
- **2009 Multi constellation**
  
- **270000 lignes de Fortran 90**



# LE LOGICIEL GINS: Doc Algo

---

- Une Documentation algorithmique est disponible en ligne

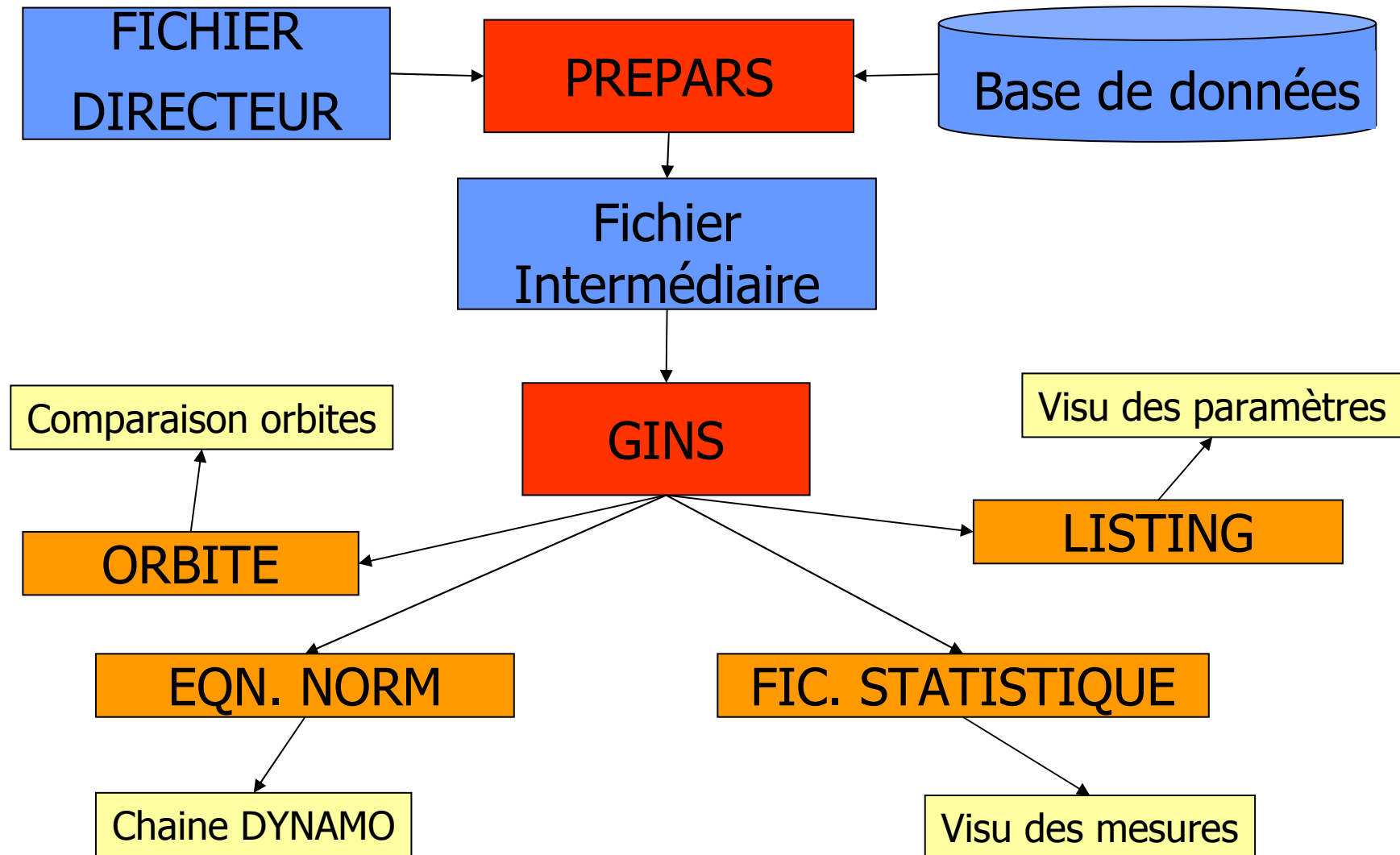


# LE LOGICIEL GINS: fonctionnalités

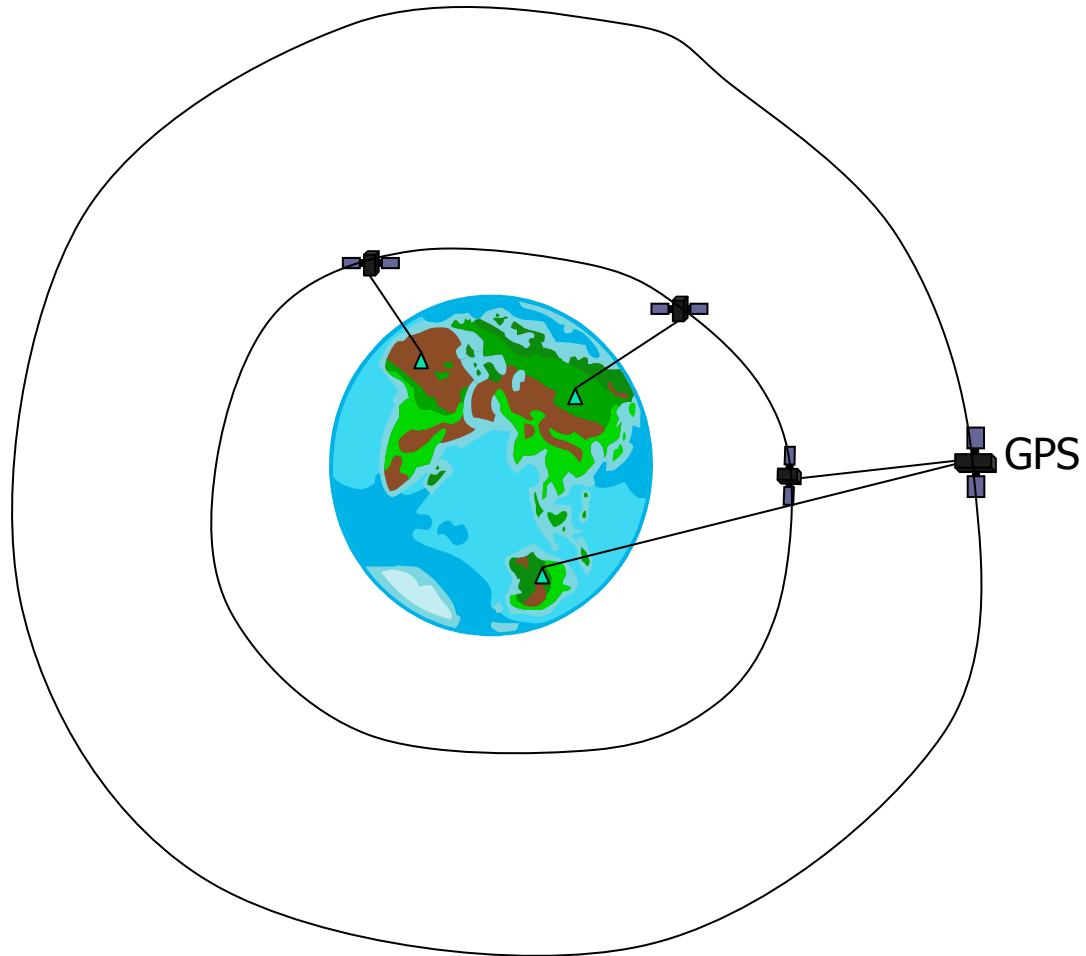
---

- **Calcul d'orbite autour d'un corps du système solaire**
- **Détermination de paramètres géophysiques:**
  - Paramètres de rotation du corps: pole , TU1, nutations ...
  - position et vitesse des stations (géocentre)
  - coefficients du champ de gravité
  - coefficients des modèles de marée océanique
  - surface moyenne océanique
  - coefficients du modèle d'atmosphère (température, densité des gaz)
  - ...
- **Cas sans satellite: VLBI**
- **Cas planétaire**
- **Simulation de mesures**

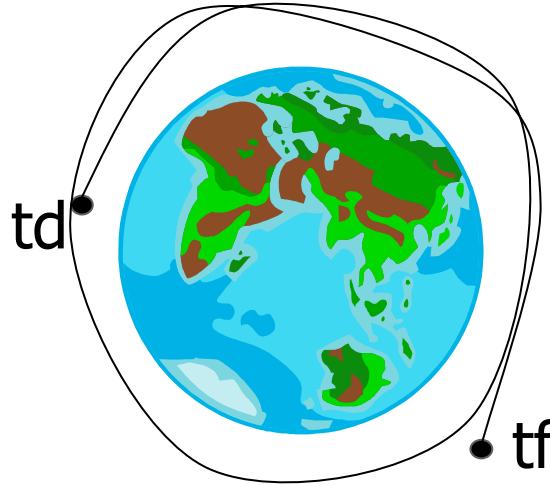
# LE LOGICIEL GINS: Organigramme général



# LE LOGICIEL GINS: Généralités



# LE LOGICIEL GINS: Extrapolation d'orbite (1)



Calcul d'une éphéméride entre  $t_d$  et  $t_f$  à partir:

- du vecteur d'état à  $t_d$ :  $r_0, \dot{r}_0$  ou  $a_0, e_0, i_0, \Omega_0, \omega_0, M_0$
- Des modèles des forces agissant sur le satellite

On doit donc intégrer l'équation fondamentale de la dynamique:  $\Sigma F = m \frac{d^2 r}{dt^2}$



## LE LOGICIEL GINS: Extrapolation d'orbite (2)

---

### **Les forces prises en compte dans le calcul d'orbite:**

Ces forces sont décrites en détail dans le « descriptif des forces »

- **Forces gravitationnelles:**

- attraction gravitationnelle de la Terre
- attraction gravitationnelle du Soleil, de la Lune et des planètes
- marées solides
- marées océaniques
- pression atmosphérique

**STANDARDS IERS 2010**



# LE LOGICIEL GINS: Extrapolation d'orbite (3)

## •Forces non gravitationnelles:

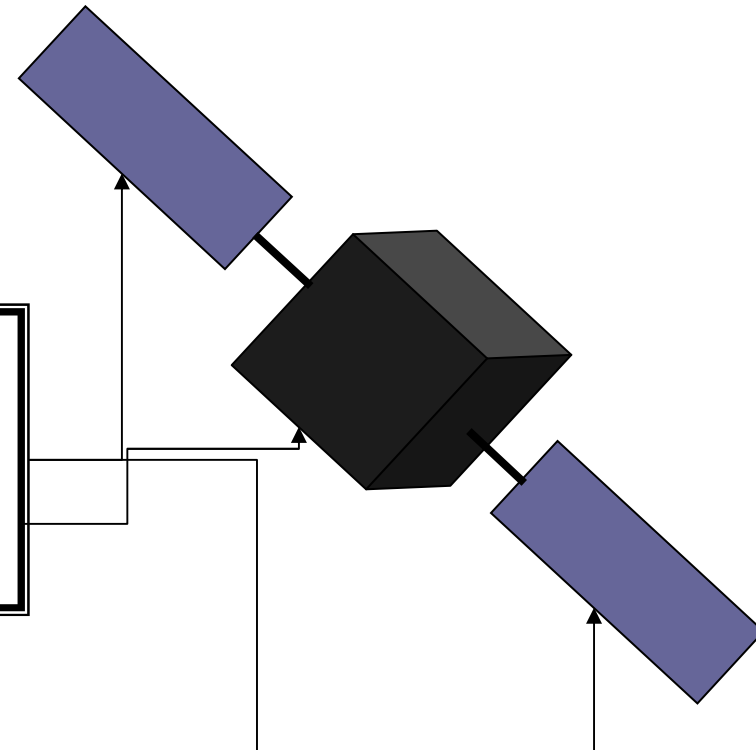
Pour ces forces le satellite peut être considéré comme sphérique ou décomposé en macro modèle

- frottement atmosphérique
- pression solaire directe
- albédo, Infra-Rouge
- thermique

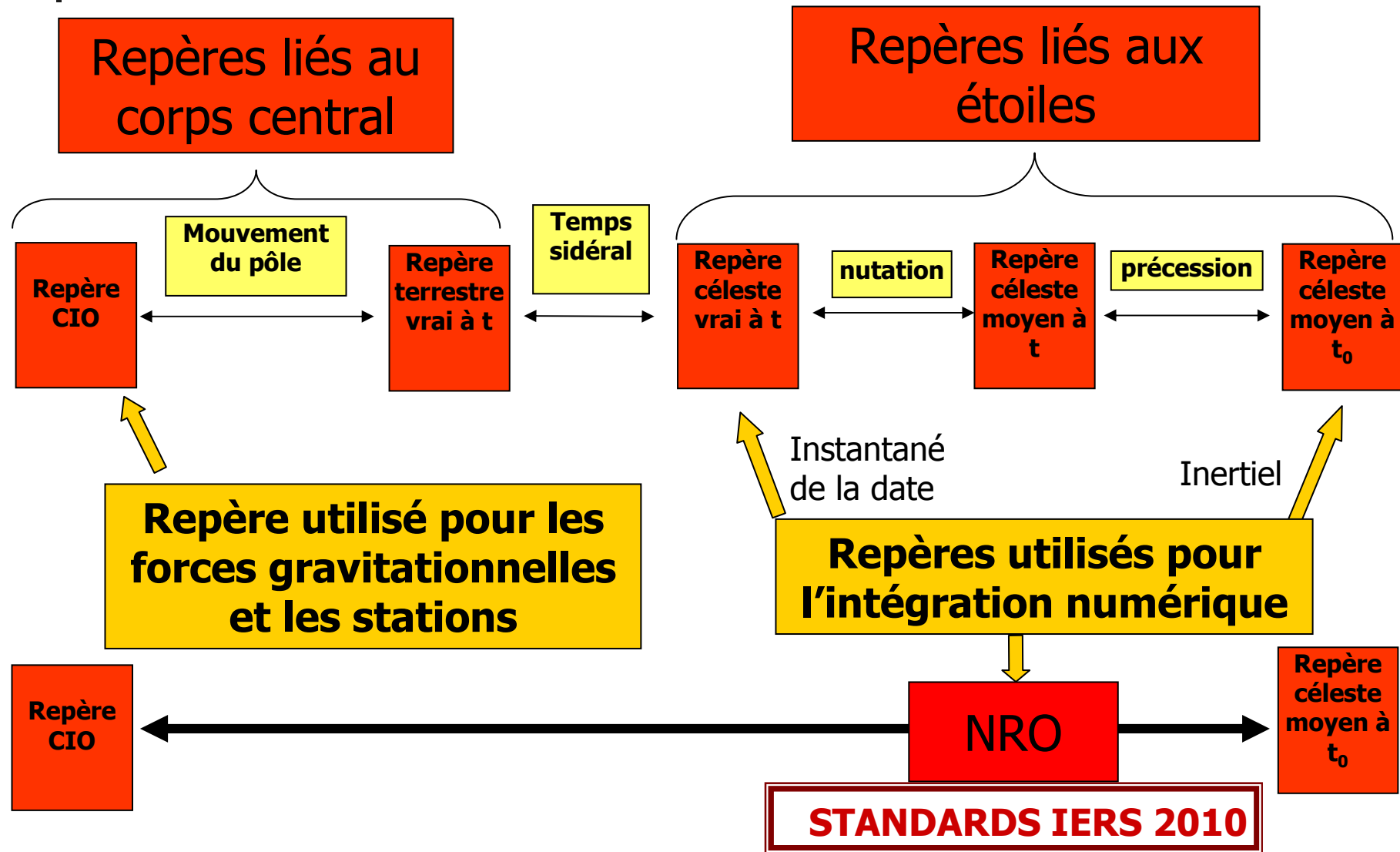
Pour chaque face du satellite, on a:

- sa surface
- ses coefficients de réflectivité
- son coefficient d'émissivité
- sa température

+ loi d'attitude



# LE LOGICIEL GINS: Les systèmes de référence



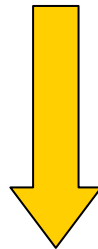


# LE LOGICIEL GINS: Les échelles de temps

---

Le temps utilisé dans GINS est le TAI:  
Temps Atomique International

Certaines mesures sont datées en TUC ou TGPS

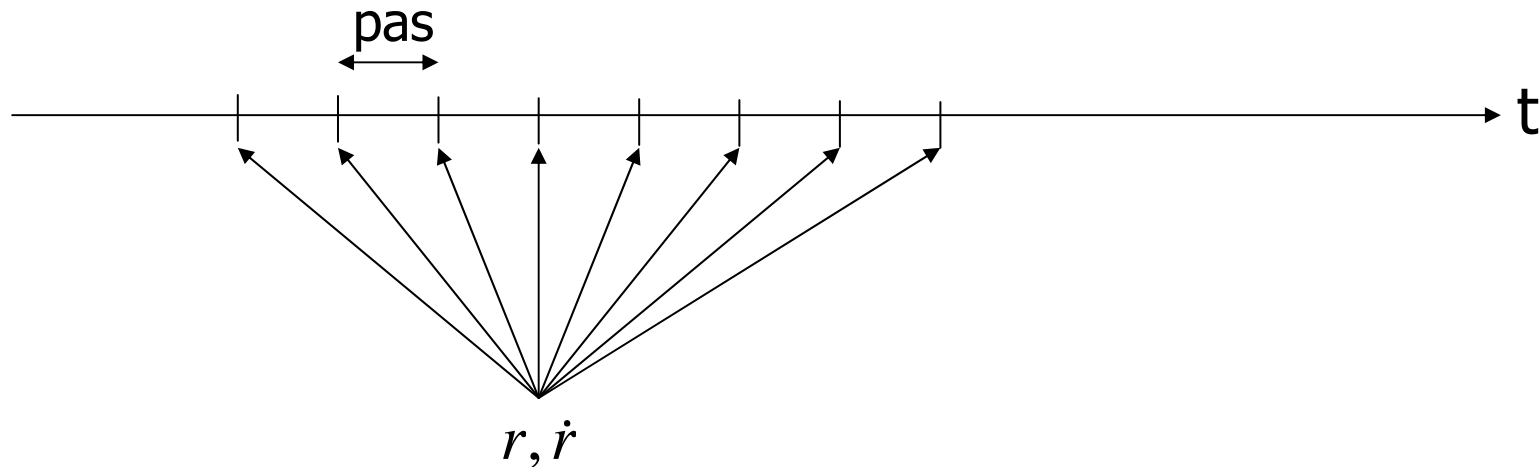


Conversions en TAI

# LE LOGICIEL GINS: L'intégration numérique

## intégrateur numérique à pas liés de type Cowell

- ordre variable (en général 8)
- pas d'intégration constant

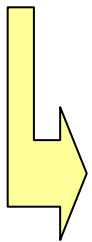




## Extrapolation d'orbite: Les sorties

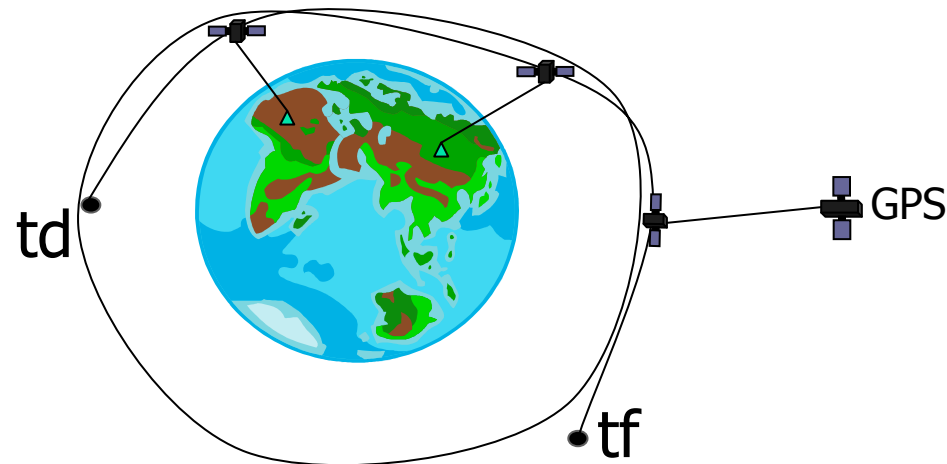
---

- Bulletins aux dates demandées
- éphémérides du satellite c.a.d, à chaque pas d'intégration:
  - position, vitesse, accélération dans le repère d'intégration
  - position, vitesse dans le repère lié au corps central



« ov » : logiciel de comparaison d'orbites (cf. T.P)

# LE LOGICIEL GINS: Restitution d'orbite (1)



On fait une extrapolation d'orbite **ET**

- on prend en compte des mesures à partir
  - de stations au sol (Laser, Doppler...)
  - d'autres satellites (GPS)



$Q_{obs}$

On cherche à minimiser les écarts entre les mesures et les mesures théoriques déduites l'orbite calculée et en ajustant des paramètres



## LE LOGICIEL GINS: Restitution d'orbite (2)

Les paramètres ajustables:

- le bulletin initial (toujours libérés)
- les facteurs multiplicatifs des forces ( frottement, portance, albédo, thermique)
- les coefficients empiriques: biais, termes périodiques...
- les forces stochastiques (périodiques, éclipses, manœuvres)
- les paramètres liés à la mesure

# LE LOGICIEL GINS: Moindres carrés

L'équation est: 
$$\sum_{i=1}^P \frac{\partial Q}{\partial \gamma_i} \Delta \gamma_i = \Delta Q \qquad \Delta Q = Q_{\text{obs}} - Q_{\text{théo}}$$

avec  $\Delta \gamma_i$  : les corrections aux P paramètres ajustés

On a M mesures à notre disposition, cela donne:

$$\begin{array}{c} \text{M mesures} \\ \updownarrow \end{array} \begin{array}{c} \xleftarrow{\text{P paramètres}} \\ \left[ \begin{array}{ccc} \frac{\partial Q_1}{\partial \gamma_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial \gamma_p} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_M}{\partial \gamma_1} & \dots & \frac{\partial Q_M}{\partial \gamma_p} \end{array} \right] \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} \Delta \gamma_1 \\ \vdots \\ \Delta \gamma_p \end{array} \right] = \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_M \end{array} \right] \end{array}
 \end{array}$$

Qu'on écrit :  $A \cdot \Delta \gamma = B$





## LE LOGICIEL GINS: Moindres carrés (2)

On veut minimiser les écarts

$$E = B - A.\Delta\gamma$$

au sens des moindres carrés

On minimise  $S$  tel que:  $S = E^t.W.E$

avec  $W = \begin{bmatrix} w_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & w_M \end{bmatrix}$

La matrice des poids des mesures



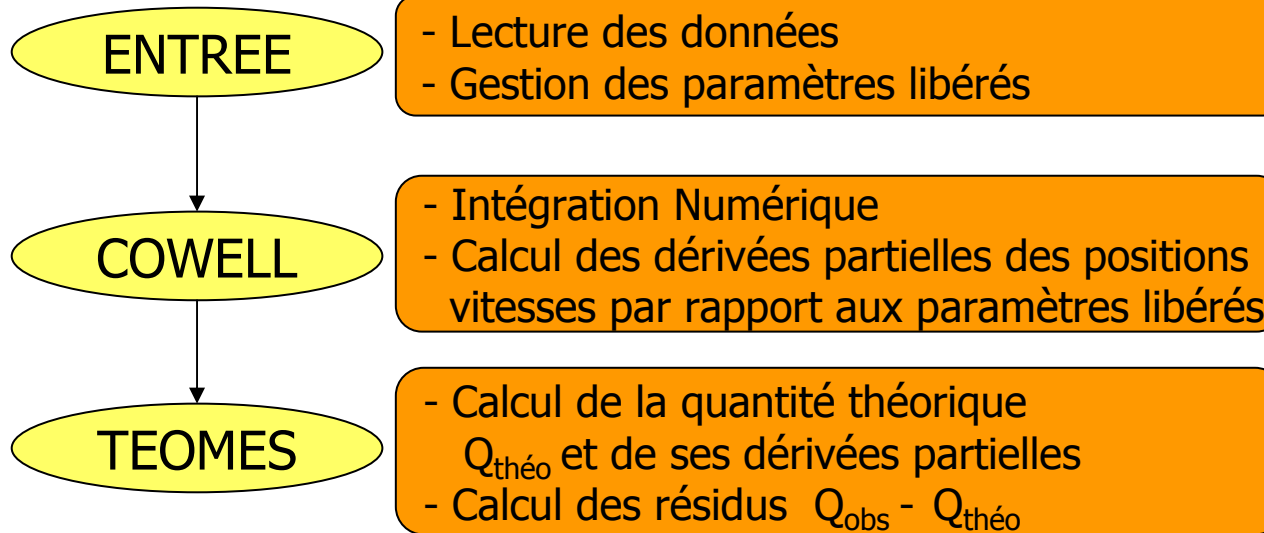
# LE LOGICIEL GINS: Moindres carrés (3)

On doit donc résoudre le système:

$$\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{A} \Delta\boldsymbol{\gamma} = \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{B}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{m=1}^M \frac{\partial^2 W_m Q_m}{\partial \gamma_1^2} & \dots & \sum_{m=1}^M \frac{\partial^2 W_m Q_m}{\partial \gamma_p \partial \gamma_1} \\ \vdots & & \vdots \\ \sum_{m=1}^M \frac{\partial^2 W_m Q_m}{\partial \gamma_1 \partial \gamma_p} & \dots & \sum_{m=1}^M \frac{\partial^2 W_m Q_m}{\partial \gamma_p^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\gamma_1 \\ \vdots \\ \Delta\gamma_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{m=1}^M \frac{\partial W_m Q_m}{\partial \gamma_1} \Delta Q_m \\ \vdots \\ \sum_{m=1}^M \frac{\partial W_m Q_m}{\partial \gamma_p} \Delta Q_m \end{bmatrix}$$

# LE LOGICIEL GINS: Organigramme

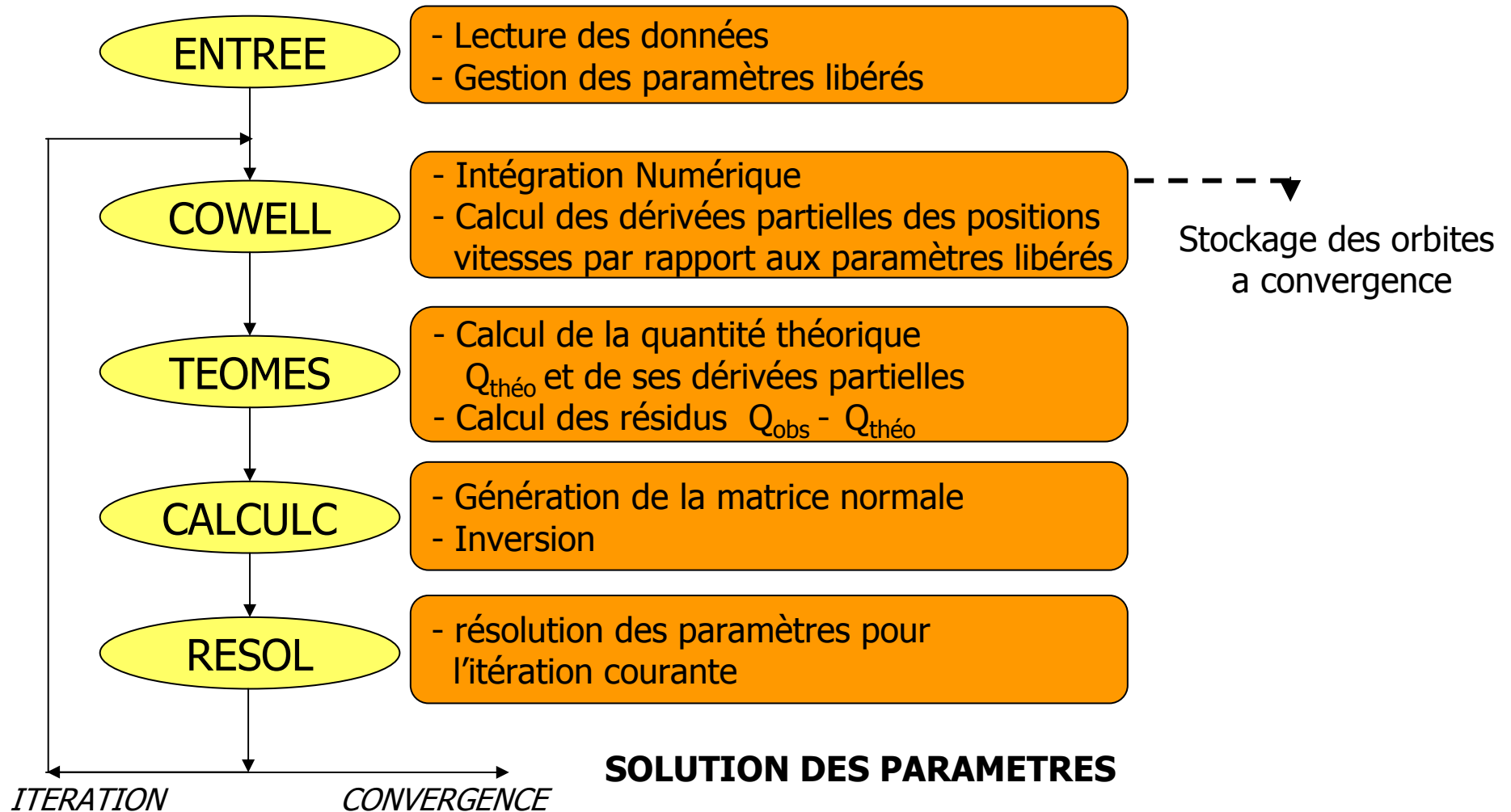




# LE LOGICIEL GINS: Fonction de mesure

- $Q_{\text{obs}}$  est lu dans les fichiers de mesure
- $Q_{\text{theo}}$  est calculé à partir du vecteur position/vitesse du satellite et du vecteur position de la station à l'instant de la mesure.
  - Le vecteur position/vitesse du satellite
    - interpolation de lagrange des points de Cowell
  - La position de la station dans le repère lié au corps après la prise en compte:
    - de la dérive tectonique (fait à la lecture)
    - les déplacements dus: - aux marées solides
      - aux marées océaniques
      - à la pression atmosphérique

# LE LOGICIEL GINS: Organigramme





# LE LOGICIEL GINS: Les mesures

## TYPE DE MESURE

- Laser
- Doppler
- Interféromètre (VLBI)
- Optique
- Altimétrie
- Points de croisement altimétriques
- Prare Doppler et Range
- Éphéméride(X,Y,Z inertielles satellite)
- GPS non différenciée (Pseudo distance et phase)
- Double-difference GPS (Pseudo distance et phase)
- Tenseur de gravité
- Distance, Doppler, Accélération inter satellite
- Doppler et Range DSN (2 ou 3 voies)
- Doppler NEIGE (1 voie montant)

## PARAMETRES

- biais de datation
- biais de distance
- biais troposphérique
- biais de fréquence
- biais d'horloge
- ambiguïtés

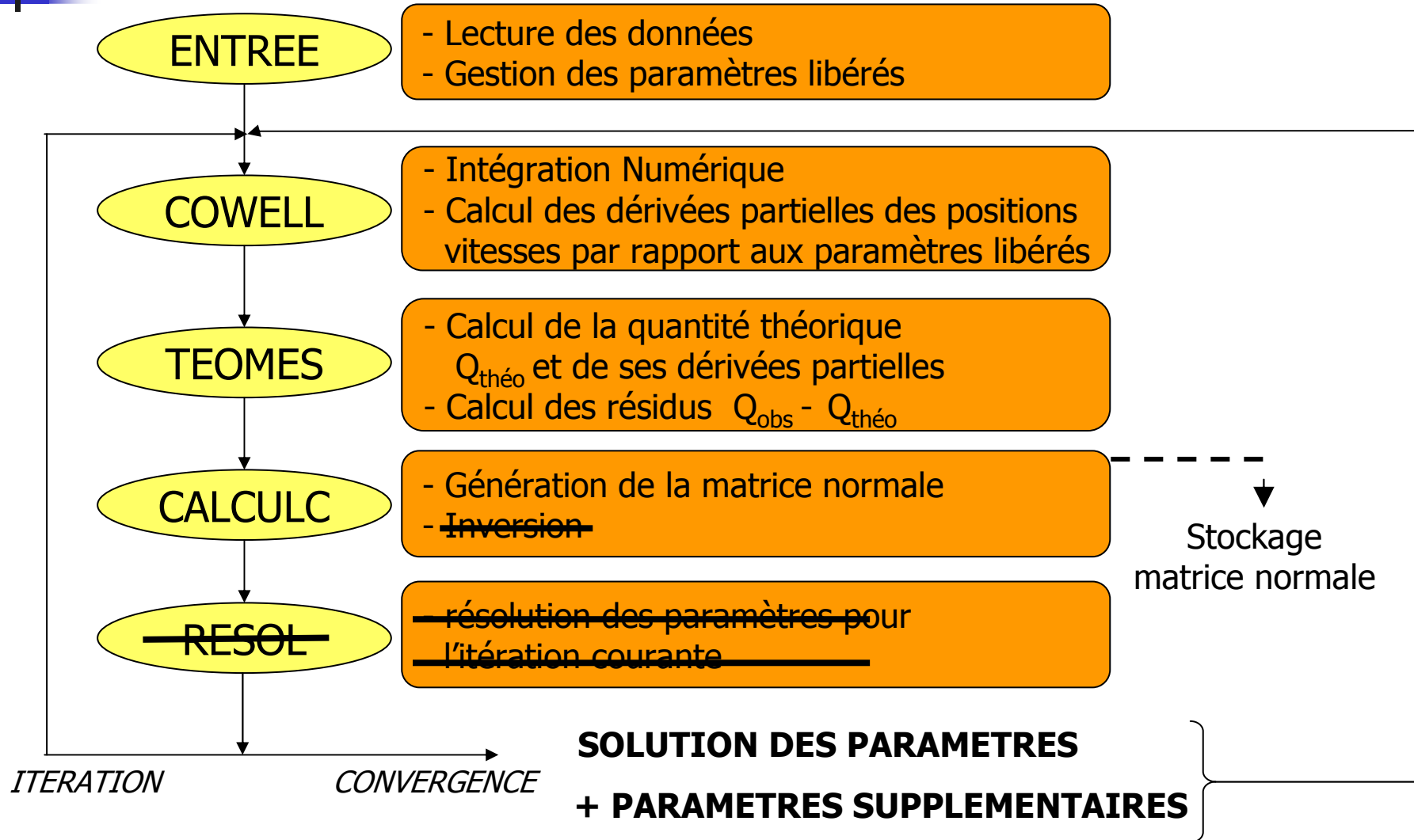


# Restitution d'orbite: Les sorties

---

- Éphémérides du satellite à convergence
- Bulletins aux dates demandées
- Les paramètres ajustés
  
- listing
- fichier statistiques

# LE LOGICIEL GINS: Itération supplémentaire







# LE LOGICIEL GINS: Cas planétaire

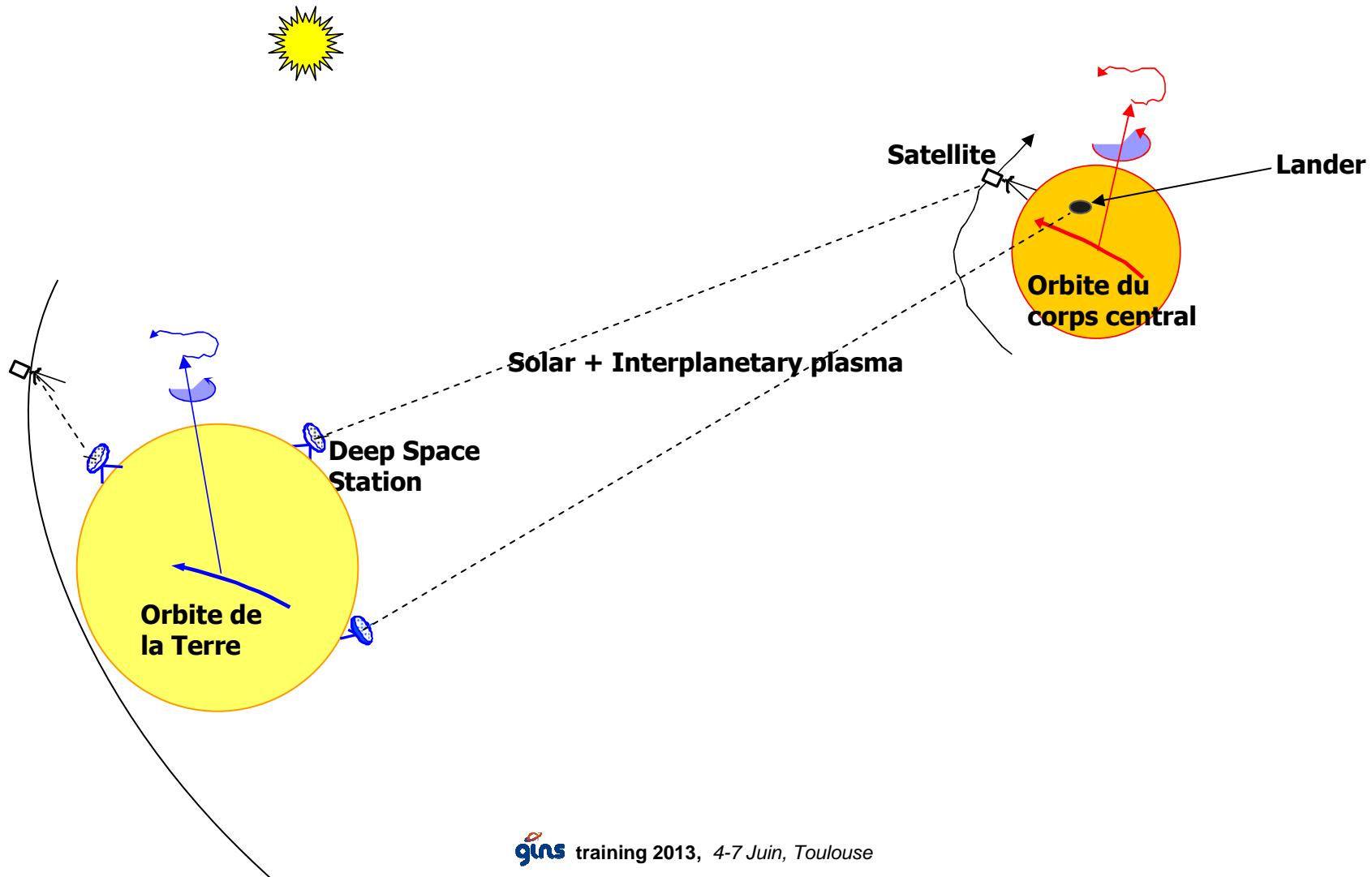
---

Calcul de l'orbite d'un satellite  
autour d'un corps du système solaire:

- Planète
- Satellite naturel
- Soleil

# LE LOGICIEL GINS: Cas planétaire

Corps perturbateur





# LE LOGICIEL GINS: Cas planétaire

---

## LES SYTEMES DE REFERENCE:

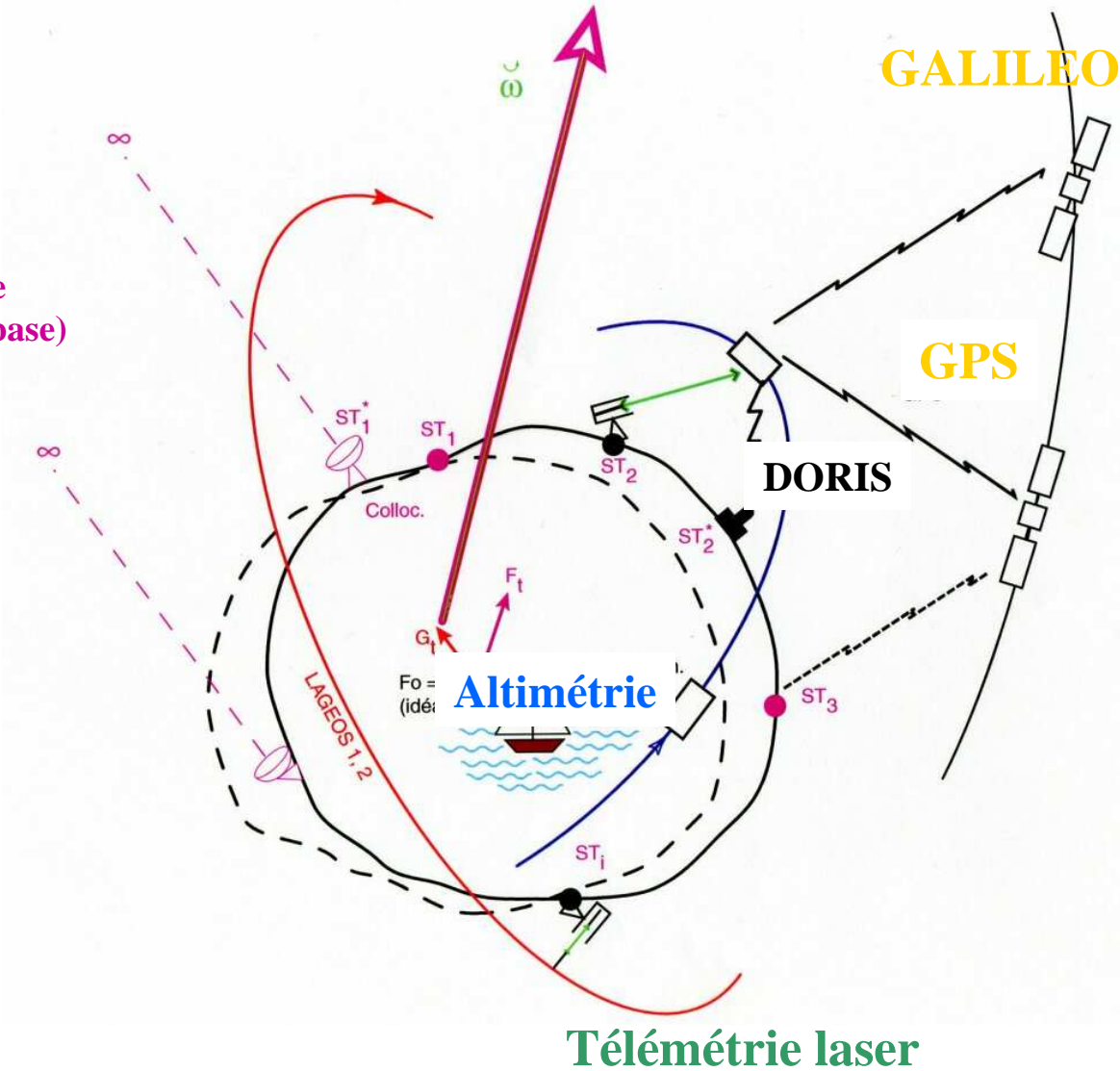
- Intégration numérique dans un repère planétocentrique:
  - inertielle J2000 ou 1950.0
  - instantané de la date
- Repère planétocentrique lié au corps pour le calcul du champ gravitationnel, des marées, de l'albédo ...
- Repère lié à la Terre pour les coordonnées des stations.
- Passage en repère barycentrique pour le calcul de certaines corrections sur les mesures

## ECHELLE DE TEMPS:

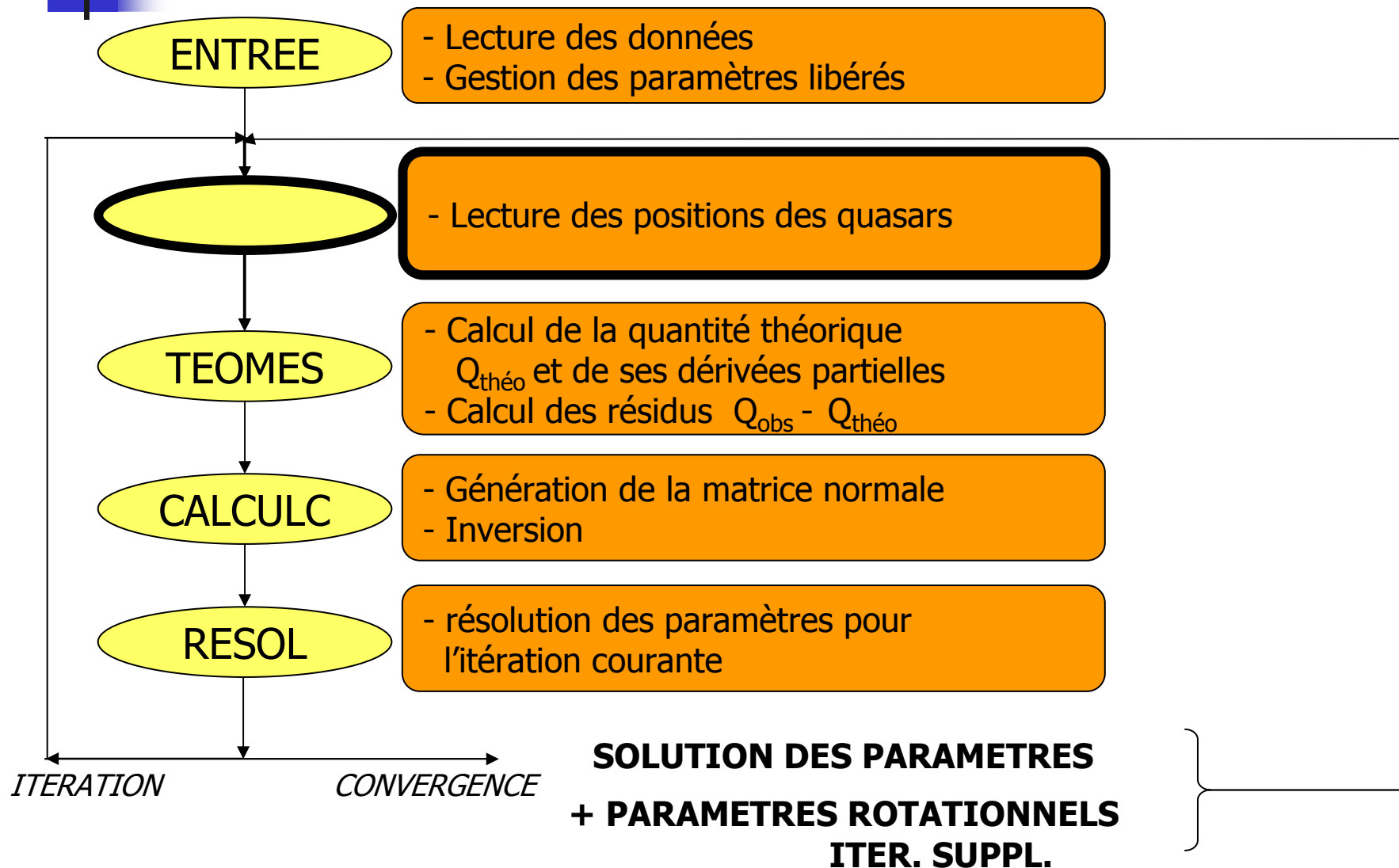
- Intégration en Temps Dynamique Barycentrique

# LE LOGICIEL GINS: Cas VLBI

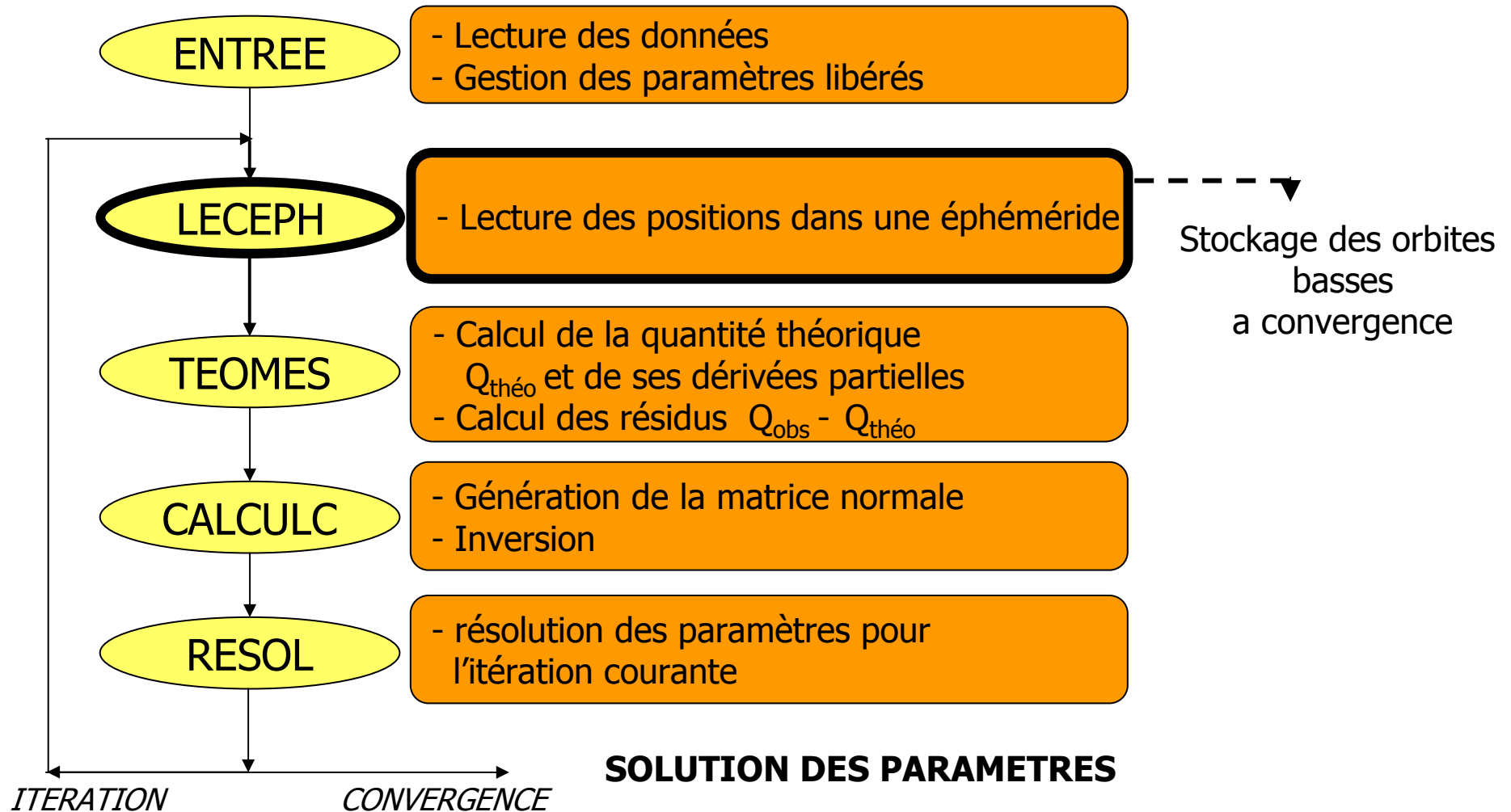
**VLBI**  
(interférométrie  
radio à longue base)



# LE LOGICIEL GINS: Organigramme cas VLBI



# LE LOGICIEL GINS: cas orbite figée



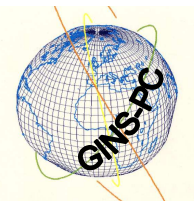


# LE LOGICIEL GINS: simulation

---

## **PRINCIPE:**

- Extrapolation d'orbite
- calcul d'une mesure théorique le long de cette orbite
- Rajout éventuel de bruits
- Stockage de ces mesures simulées dans un fichier de mesure classique

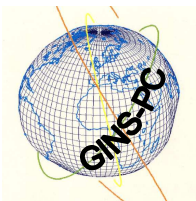




# LE LOGICIEL GINS: nouveautés

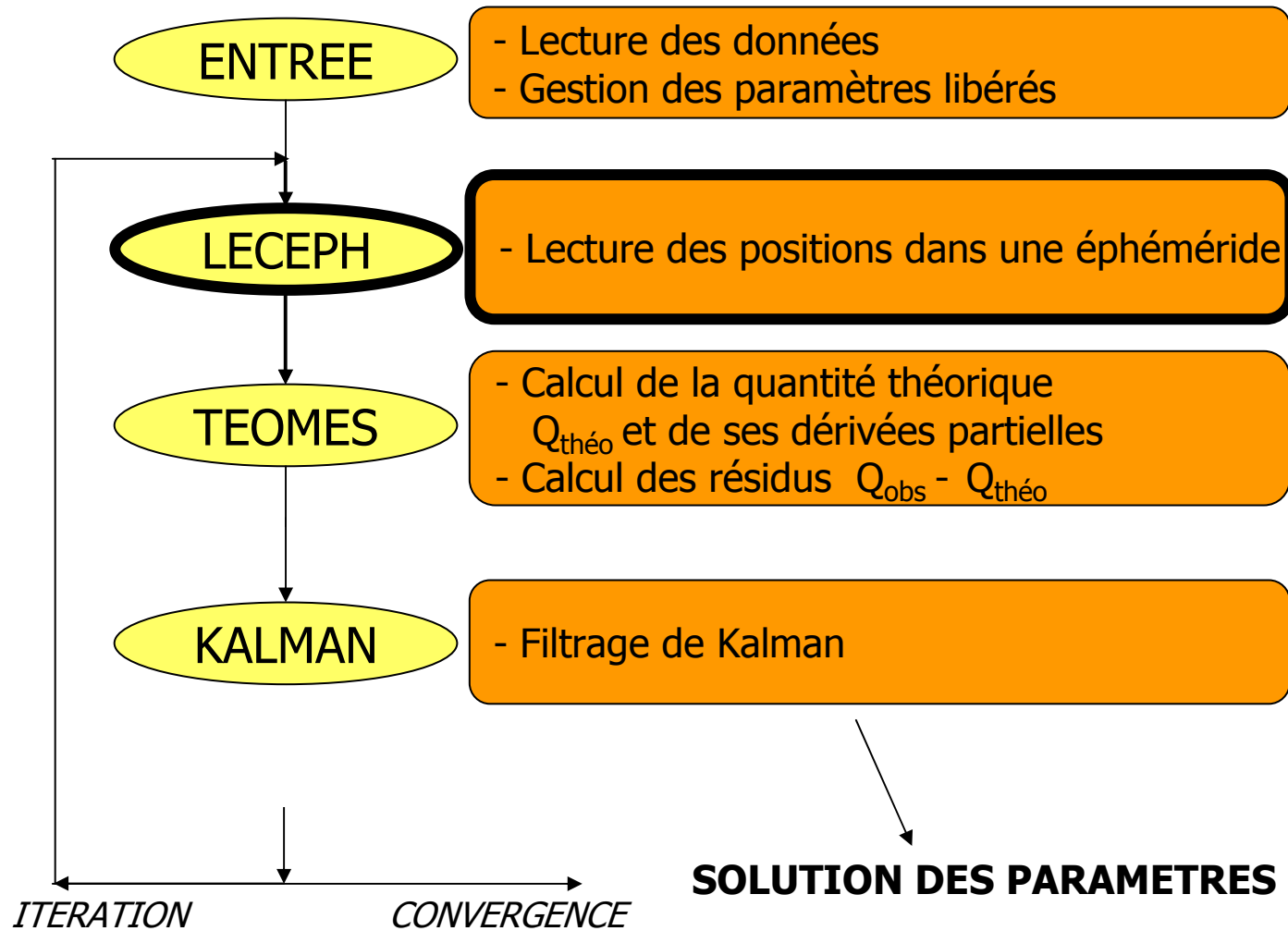
---

- **On peut pour certaines applications (ex PPP) utiliser un filtre de Kalman plutôt que les moindres carré**
- **avantages:**
  - **taille mémoire plus petite**
  - **temps d'exécution plus court**



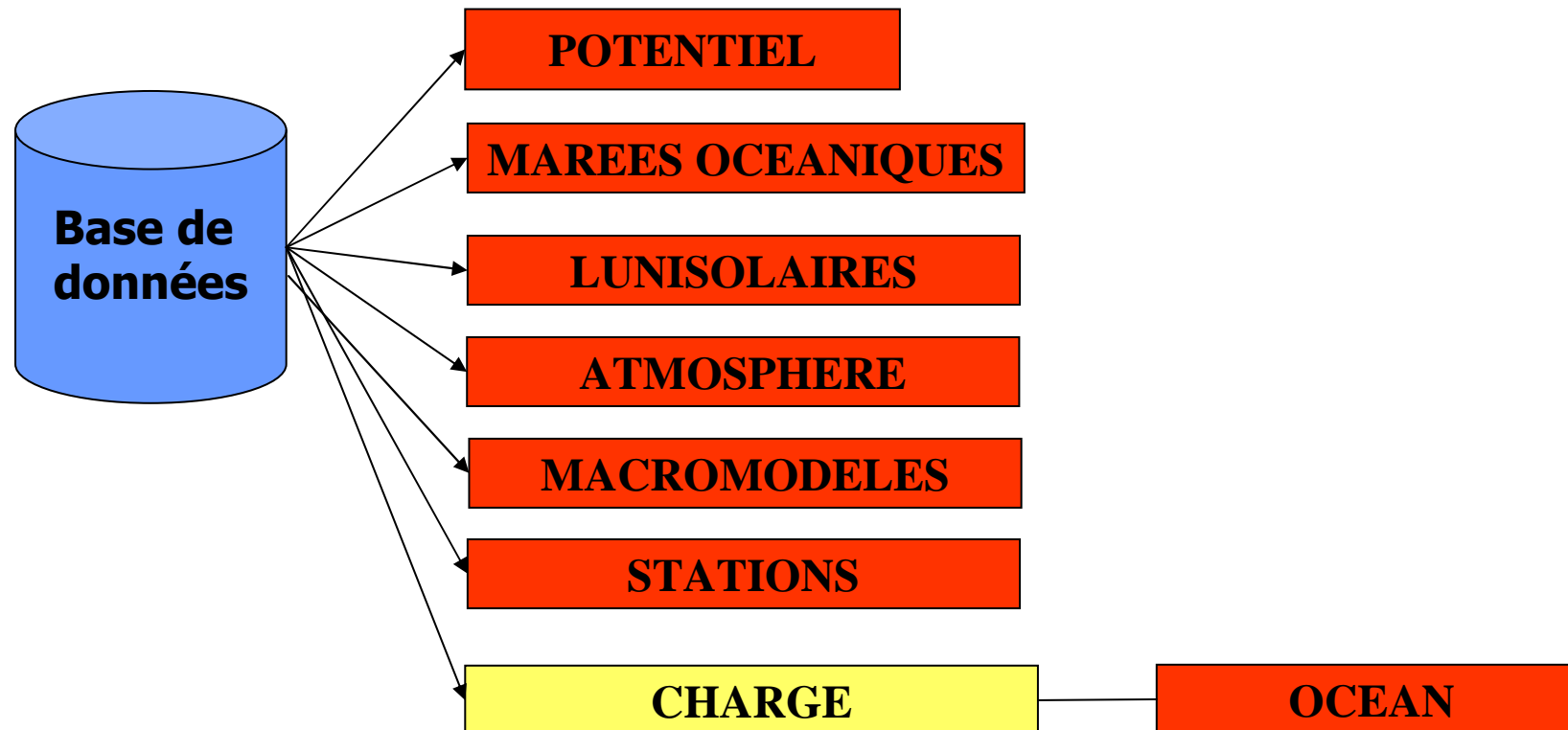


# LE LOGICIEL GINS: cas orbite figée - Kalman



# LE LOGICIEL GINS: entrées

## Fichiers évoluant peu dans le temps



# LE LOGICIEL GINS: entrées

## Fichiers mis à jour fréquemment

