



*Les effets de l'atmosphère
sur les mesures de télémétrie laser*

*Propagation
et
effet de charge*

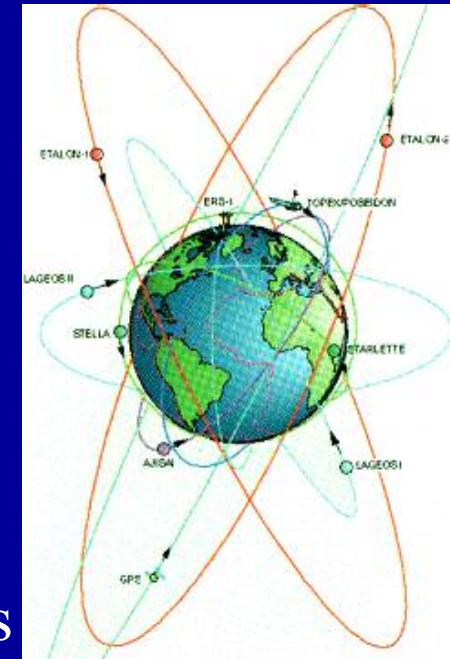
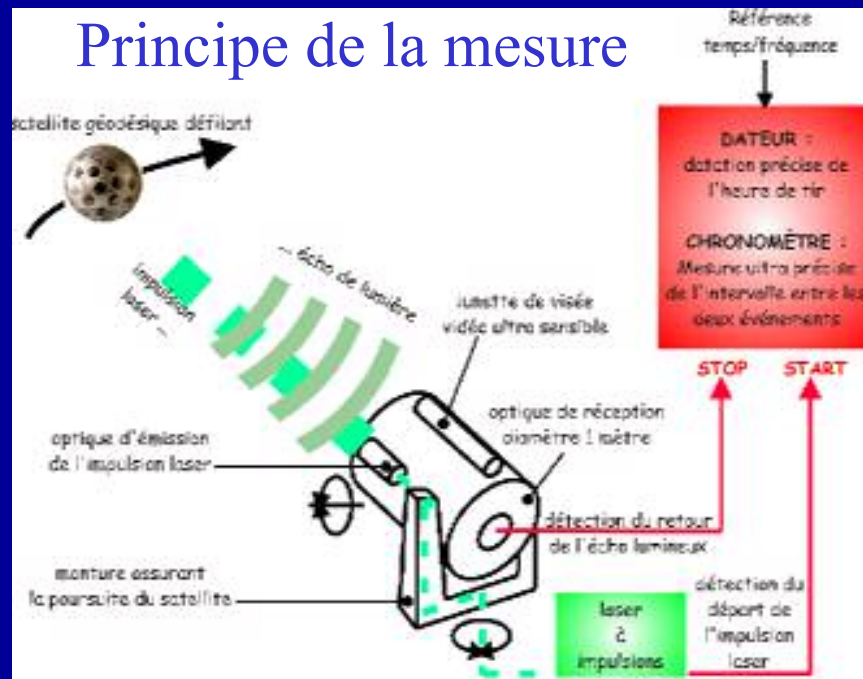
Joëlle NICOLAS

OCA/CERGA - Grasse

AGRET, Toulouse, 13-15 nov. 2002

Introduction

Principe de la mesure



Satellites



OCA/CERGA



Réseau international

Propagation dans l'atmosphère



Propagation dans l'atmosphère

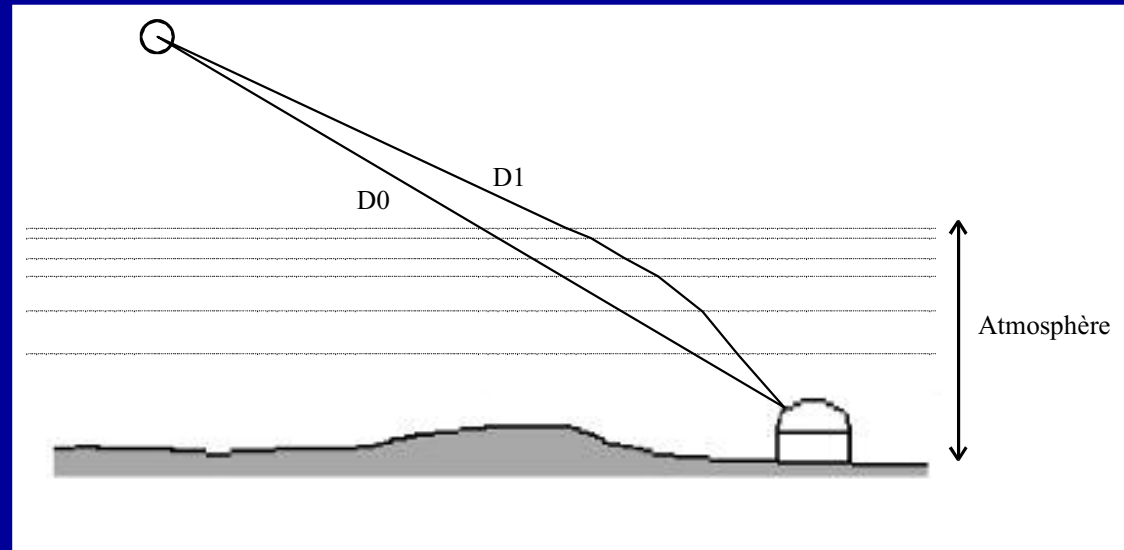
- Effets de l'atmosphère
 - variations de la vitesse de propagation
 - déviation du faisceau

- Correction

$$C = \int_{station}^{cible} [n(s) - 1] ds$$

soit environ 2,5m à la verticale.

- Paramètres utiles pour évaluer cette correction
 - paramètres météorologiques mesurés au niveau de la station (T à $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, P à $\pm 0.1\text{mb}$, H à $\pm 5\text{-}10\%$)
 - longueur d'onde du faisceau laser
 - quantité d'atmosphère traversée (élévation du satellite)



Modèle de Marini-Murray

$$N = (n-1) \cdot 10^6 = 80.343 f(\lambda) \frac{P_a}{T} - 11.3 \frac{P_v}{T}$$

+

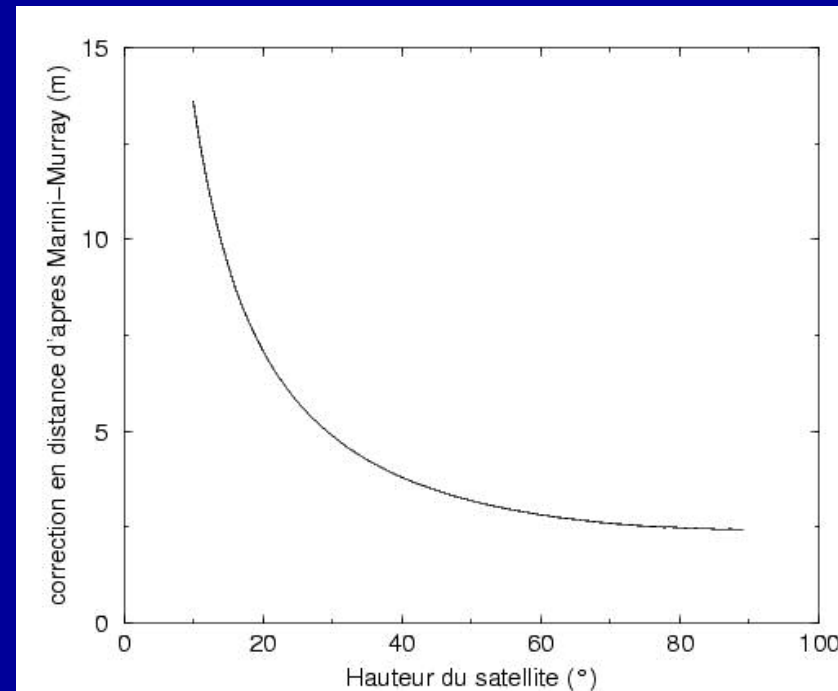
$$C = \int_{station}^{cible} [n(s) - 1] ds$$



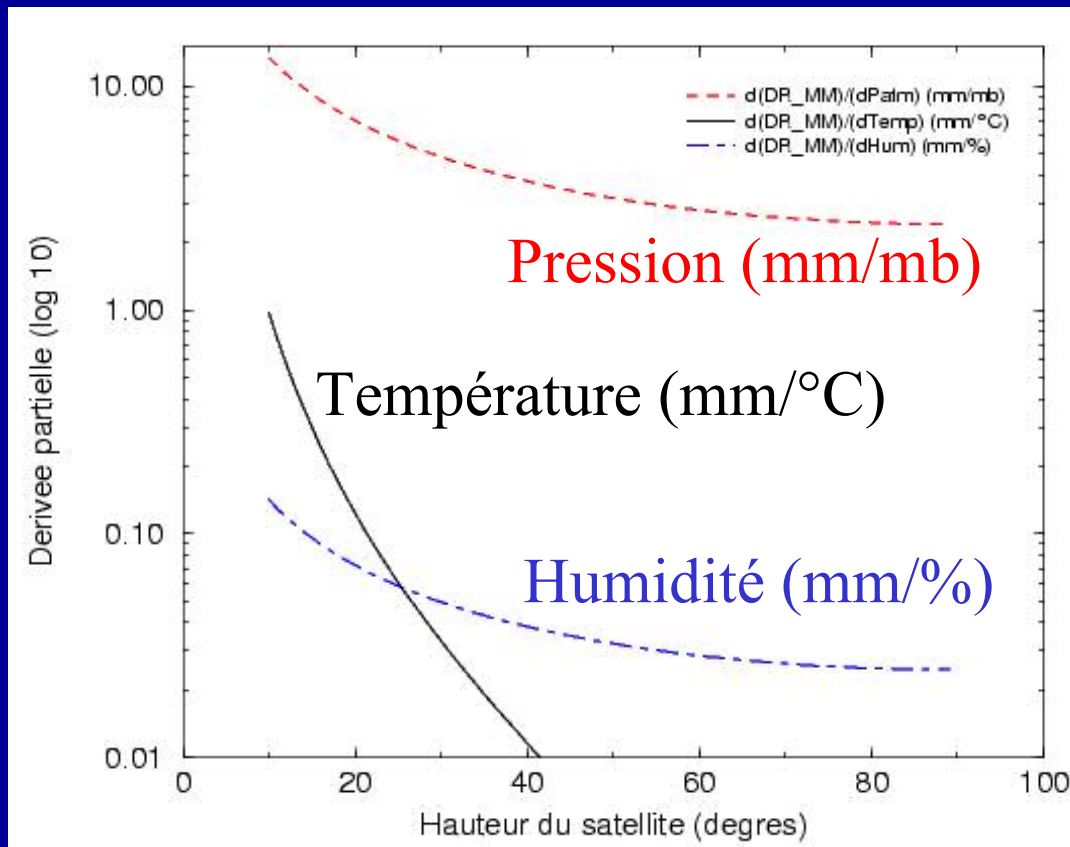
$$\Delta R = \frac{f(\lambda)}{f(\Phi, H)} \cdot \left[\frac{A(P_a, P_v) + B(P_a, T, P_v, \Phi)}{\sin(E) + \frac{B(P_a, T, P_v, \Phi)}{\sin(E) + 0.01}} \right]$$

- n indice de réfraction
- ΔR correction de distance (m)
- P_a pression atmosphérique (mb)
- P_v pression de vapeur d'eau (mb)
- T température (°C)
- λ longueur d'onde (μm)
- Φ latitude de la station (rad)
- H altitude de la station (km)
- E hauteur du satellite (rad)

$$f(\lambda) = 0,9650 + \frac{0,0164}{\lambda^2} + \frac{0,000228}{\lambda^4}$$



Correction atmosphérique



Erreur prédite par le modèle
Si $\pm 0,2$ mb, $\pm 1^\circ\text{C}$ et $\pm 10\%$
à $h=20^\circ \Rightarrow$ erreur = 2 mm
à $h=50^\circ \Rightarrow$ erreur = 0,6 mm

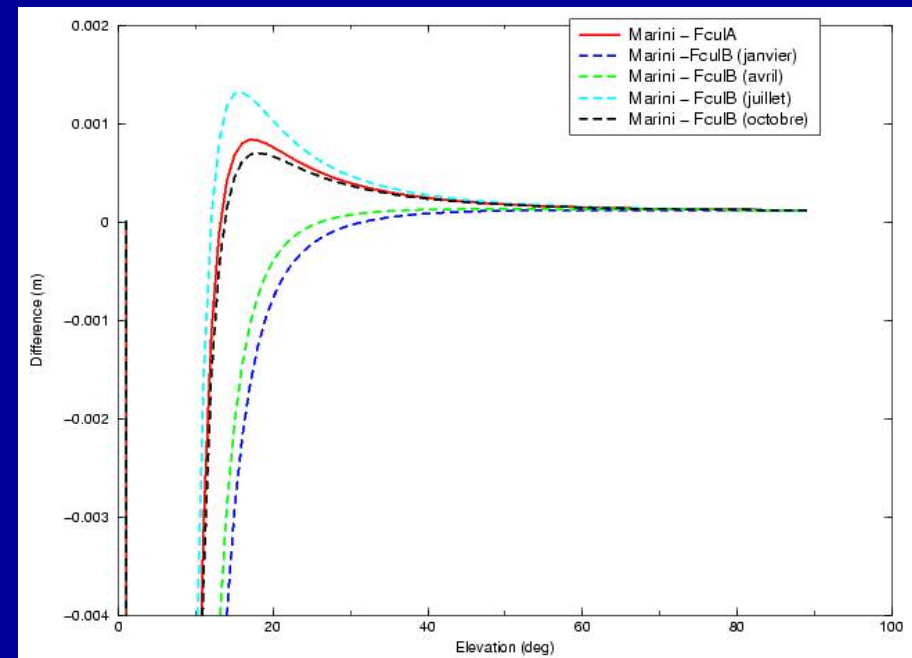
- ⇒ Importance de la qualité de la station météorologique (mesures et localisation des capteurs)
- ⇒ Erreur de 5 mm à 1 cm au zénith

Limites

- Erreurs dans les mesures des paramètres météorologiques ($\pm 0,1$ mb, $\pm 0,5^\circ\text{C}$, $\pm 5-10\%$ d'humidité)
- Humidité difficile à estimer le long du trajet
MAIS incertitude liée à l'humidité à ces longueurs d'onde (IR et visible) de qq. mm
- Ecart entre les profils verticaux effectifs et modélisés
- Non prise en compte des gradients transversaux
- Effets météorologiques locaux, saisonniers...

Améliorations de la correction

- Développement de nouveaux modèles pour améliorer les corrections à basses élévations
 - Exemple de nouvelles fonctions de rabattement: Mendes et al., GRL, 2001
- Développement de la technique 2 couleurs
 - Exemples: MLRO (Matera), TIGO (Conception)...
- Utilisation de profils d'humidité
 - GPS, radiomètres à vapeur d'eau...
 - Exemple: mesures LIDAR avec la station de Wettzell



Remarque pour la technique DORIS

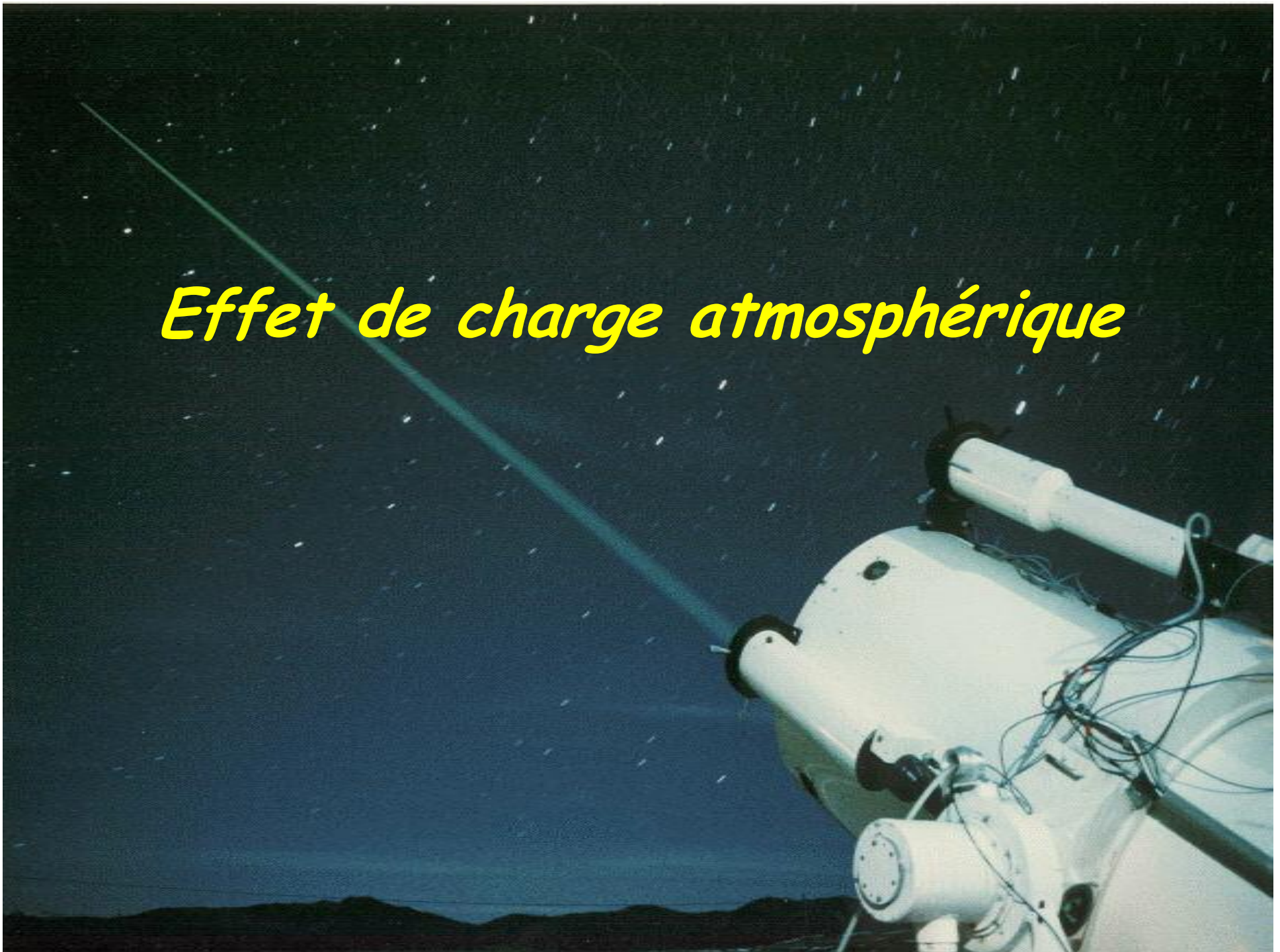
- Technique radioélectrique
- Délai zénithal moyen : 2,2 m (composante sèche)
+ 0 à 50 cm (composante humide)
- Très grande difficulté à estimer la composante humide et plus grande sensibilité que la technique laser
 - ⇒ Nécessité de l'estimer passage par passage
- Ecart entre corrections estimée et calculée : ~ 2 cm (en moyenne)
- Impact de ces erreurs sur la position de la balise : ~ 1-5 mm
- Problème de même nature pour les mesures GPS

D'après L. Soudarin - CLS

Résumé

- Importance des mesures météorologiques pour la correction troposphérique
- Nouveaux modèles en cours de développement pour les observations à basses élévations
- Nécessité de prendre en compte des phénomènes locaux et saisonniers
- Nouveau type de stations

Effet de charge atmosphérique



Effet de charge

- Déformations liées aux variations du champ de pression aux grandes longueurs d'onde (> 4000 km) et à la circulation atmosphérique
 - Déplacement vertical (sub-centimétrique à 25 mm)
 - Déplacement horizontal millimétrique (1/3 du déplacement vertical)
- Détermination des séries temporelles de positionnement des stations laser du réseau international de 1997 à 2002

Méthode



- Combinaison des observations des satellites LAGEOS -1 & -2
Cibles stables (champ de gravité peu perturbé, satellites massifs peu sensibles aux forces non gravitationnelles) couramment employées pour le positionnement
- Ajustement des coordonnées des stations tous les 30 j
Nombre de mesures suffisant (qualité, répartition géographique) pour obtenir des séries temporelles à court terme ou au moins à l'échelle de la saison
- Réseau laser homogène indispensable
- Modèles utilisés
 - standards IERS96
 - pas d'effet de charge (océanique, atmosphérique, hydrologique)
 - champ de gravité GRIM5-S1

Méthode

Restitution d'orbites dynamiques



Détermination des résidus laser



Ajustement des coordonnées (méthode géométrique)
par rapport à ITRF2000



Analyse des variations d'altitude
au niveau mondial (Europe, Etats-Unis, Australie)
au niveau local (laser, GPS, gravimétrie)

Orbitographie dynamique

- Arcs de **10 jours** à partir des observations de **12** des meilleures stations du réseau laser (qualité, quantité, stabilité), **SANS** les mesures de la station de Grasse
- Qualité de la restitution d'orbite essentielle dans toute l'analyse

*Estimation du bilan d'erreur
pour des arcs de 10 jours de
LAGEOS avec les modèles
utilisés*

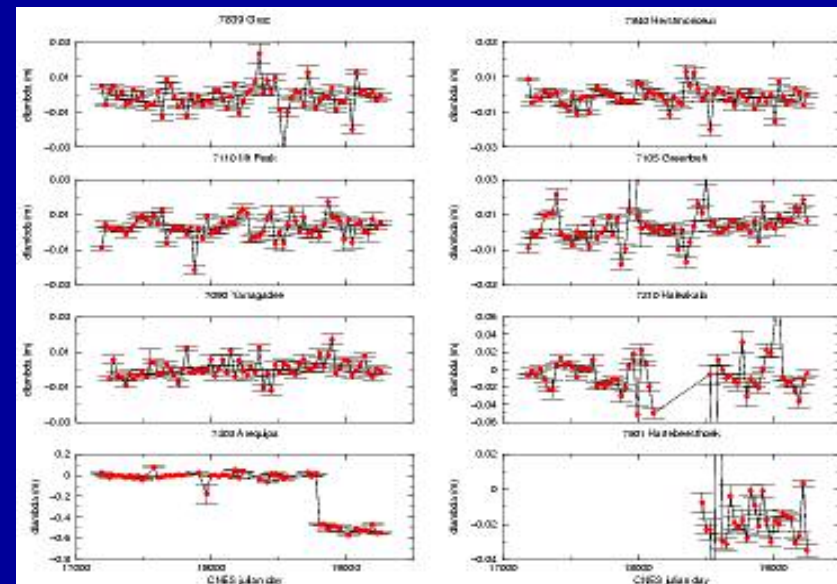
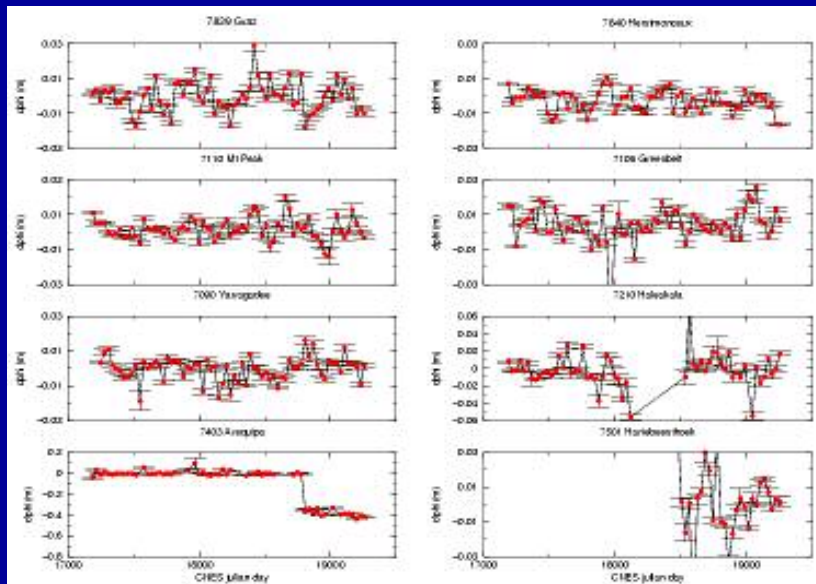
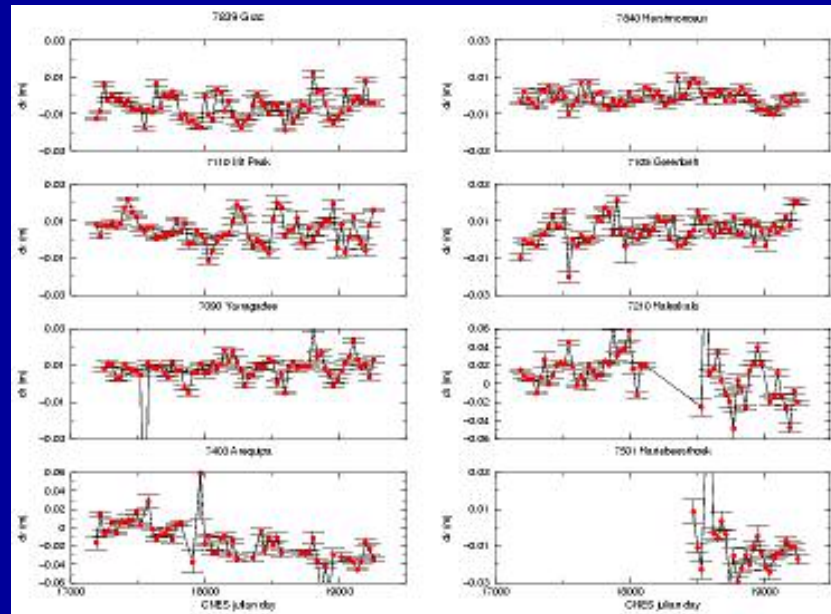
Source d'erreur	Ecart-type moyen (mm)
Champ de gravité (GRIM5-S1)	2-3
Forces non gravitationnelles	5-8
Autres (marées, variations temporelles du champ)	1-2
Coordonnées de stations (ITRF2000)	3-5
Vitesses	1-3
Mouvement global résiduel du réseau	2-4
Mesures laser	10-20
Précision globale	12-23

Séries temporelles sur le globe

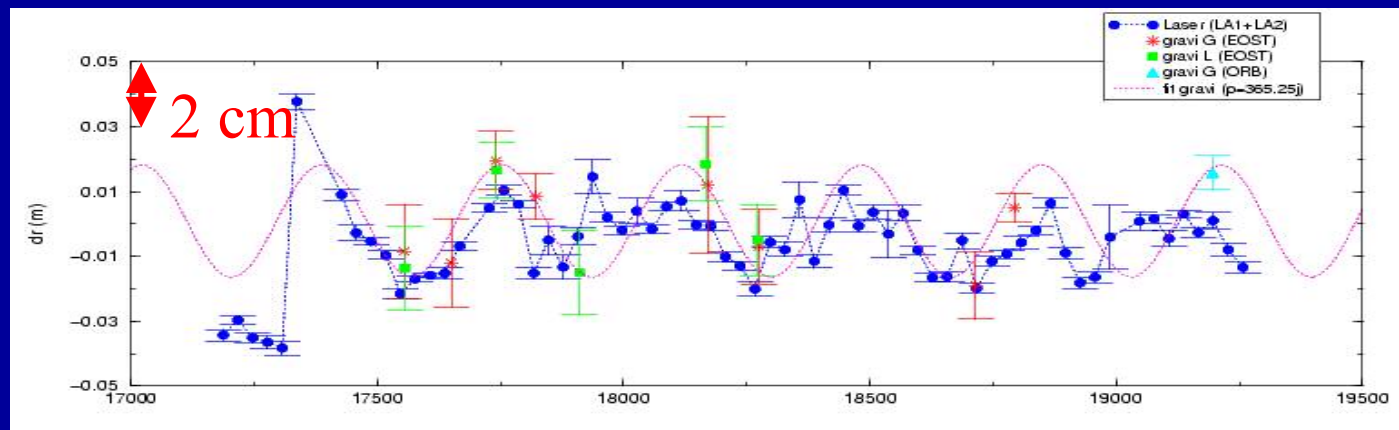
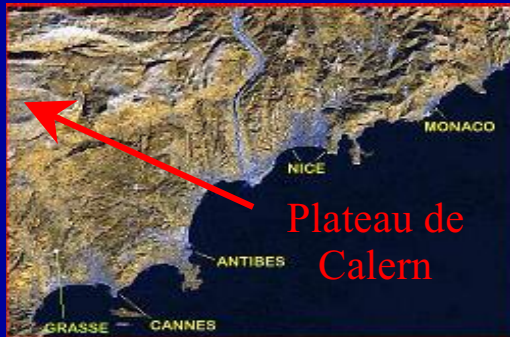
Altitude

Latitude

Longitude



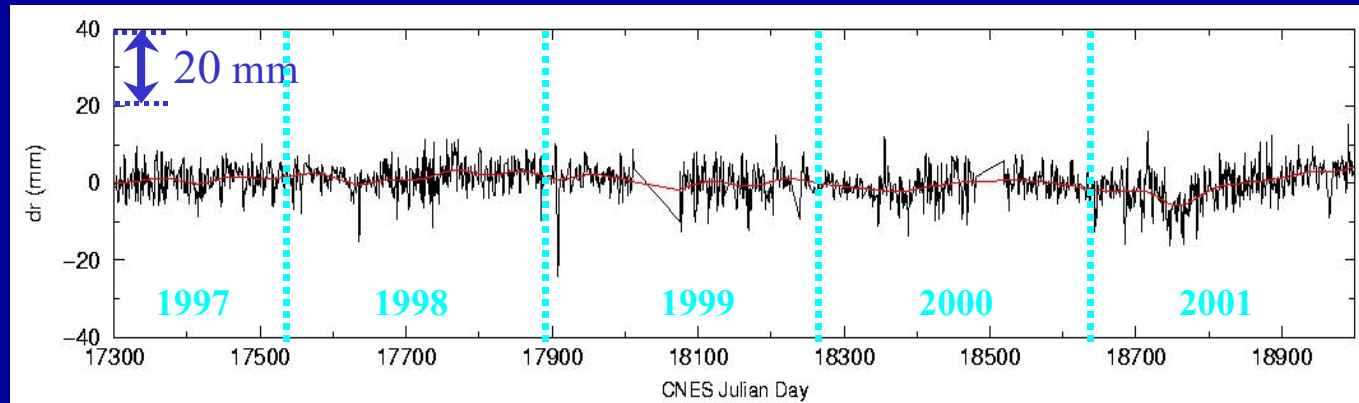
Variations d'altitude à Grasse



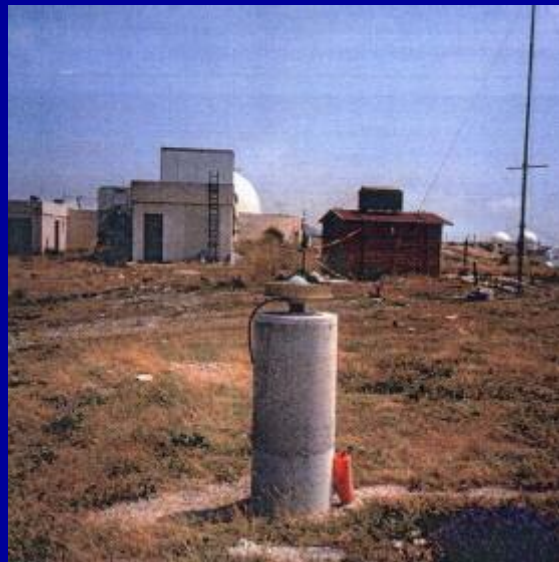
Gravimètre absolu FG-5



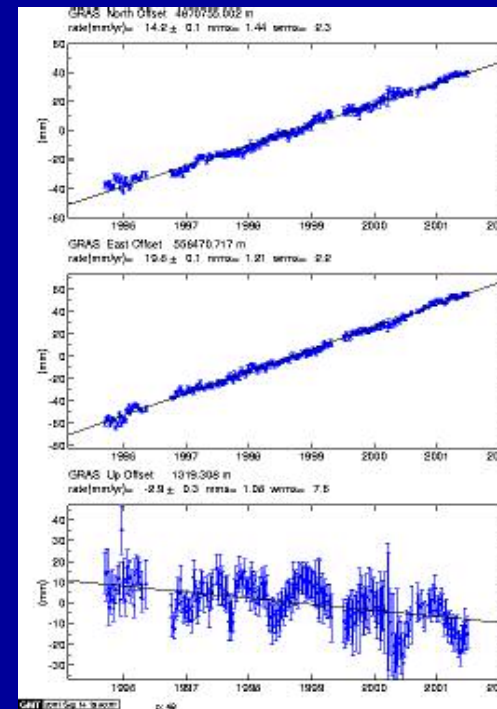
Séries temporelles GPS



Solution E. Calais



*Récepteur GPS
du Plateau de Calern*



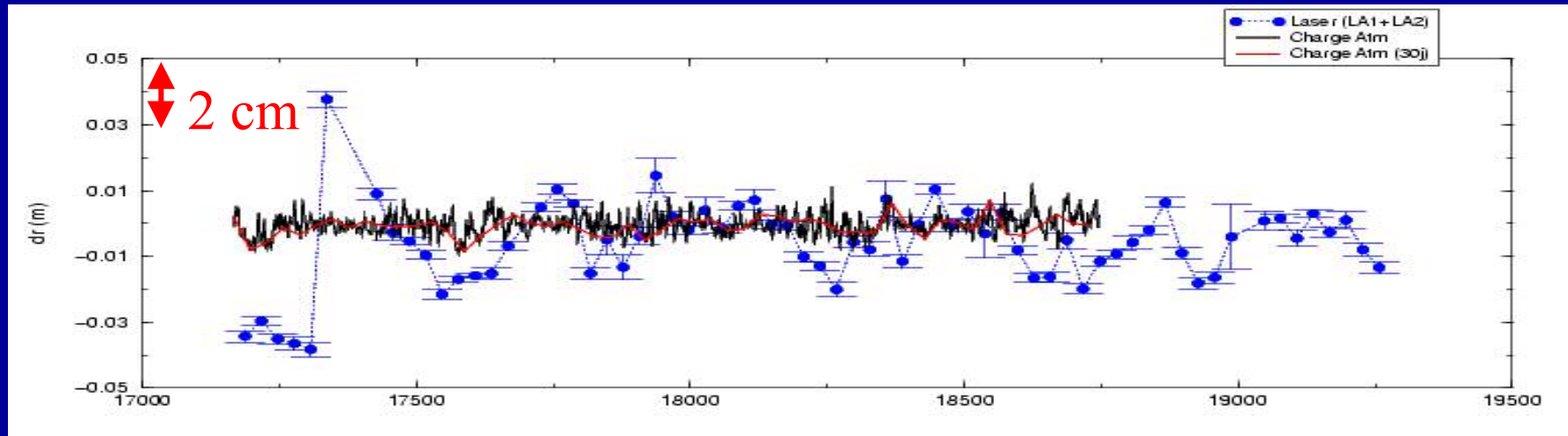
Solution CODW

Modèle de charge atmosphérique

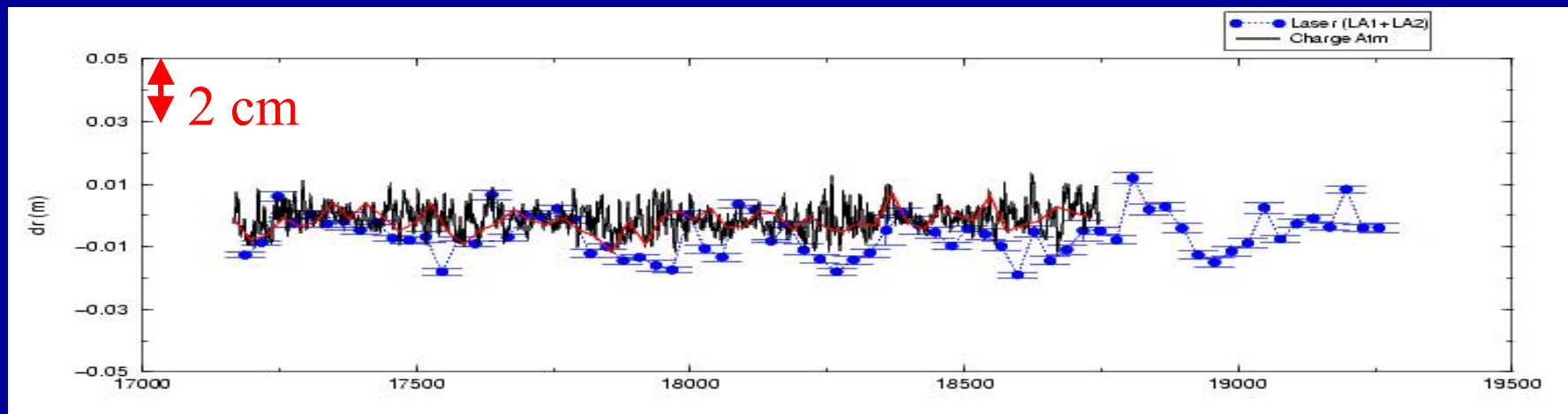
- Paramètres géodynamiques utilisés
 - Modèle de Terre PREM (sphérique, radialement stratifiée, visco-élasticité, densité moyenne...) [Dziewonski et Anderson, 1981]
 - Modèle global du champ de pression et de circulation atmosphérique (ECMWF)
 - Hypothèse de baromètre inversé
- **Formulation** : Modélisation recommandée par les standards IERS96 [Rappel and Schuh, 1986]

$$\Delta r_{(mm)} = -0,35(p - 1013)_{(mbar)} - 0,55(\bar{p}_{2000km} - 1013)_{(mbar)}$$

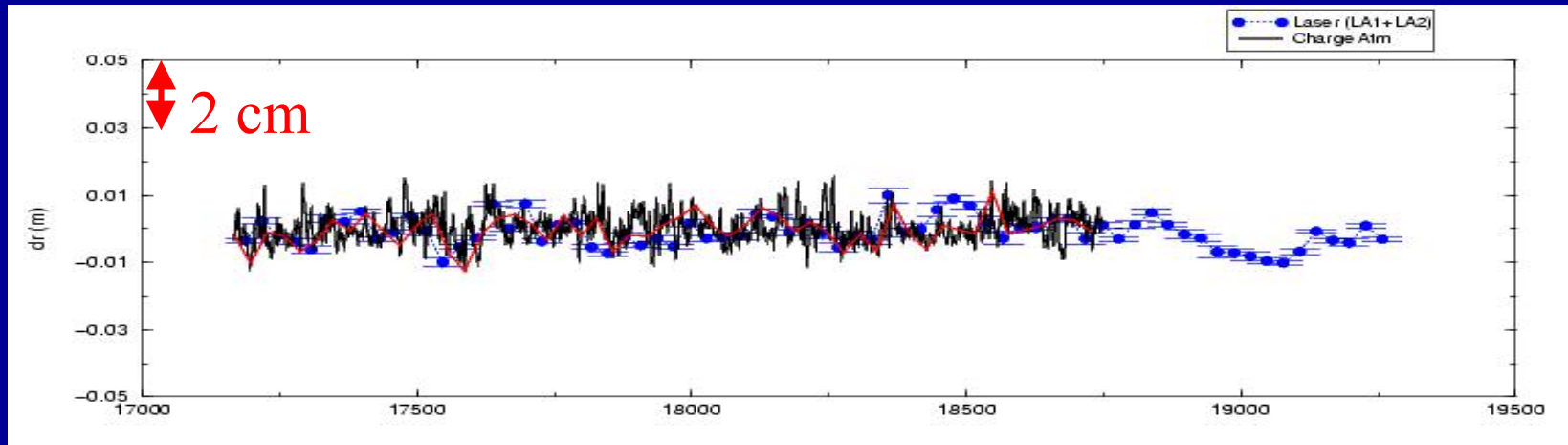
Comparaison SLR et modèle de charge à Grasse



Graz (Autriche)

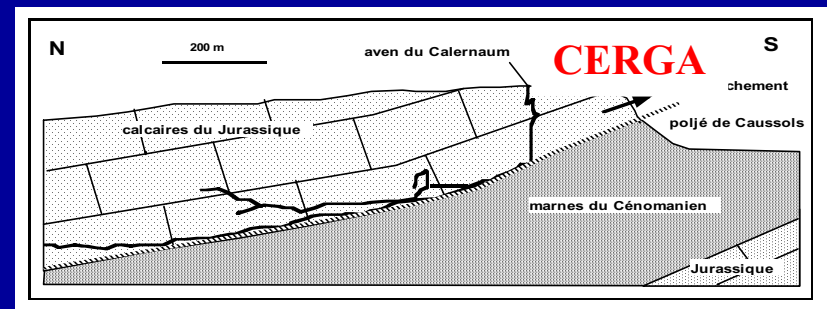
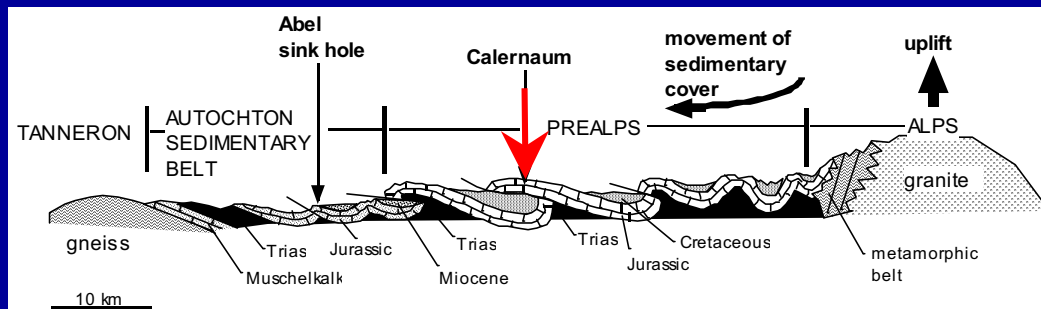


Comparaison SLR et modèle de charge à Hertsmouceux (UK)



Discussion

- Explication de la plus grande partie du signal par le modèle de charge atmosphérique utilisé
- SAUF dans le cas particulier du plateau de Calern
- Relief karstique, proximité des Alpes et de la Mer Méditerranée
 - Etude plus approfondie en cours (J.J. Walch et al.)



Conclusion

- Existence d'un signal annuel plus ou moins marqué selon les stations sur les trois composantes du positionnement
- Signal observé par les différentes techniques de géodésie spatiale
- Cas particulier à Grasse où l'amplitude du signal vertical est plus importante
- Origine : effets de charge (atmosphère, océans, hydrologie)
- Difficulté de modéliser ces effets (pas de modèles standards aujourd'hui)

Prospectives

- Nécessité de meilleurs modèles
 - de correction de délai troposphérique
 - des effets de charge (meilleur positionnement des stations)
 - du champ de gravité et de ses variations temporelles (données météorologiques, océanographiques, GRACE)
- Meilleure combinaison des différentes techniques de géodésie spatiale (solutions et méthodes)
- Etude plus approfondie du cas particulier du plateau de Calern