



Effet de l'eau dans le sol sur les observations géodésiques: exemple du bassin de Téhéran (Iran)

source: landsat image (internet site of NASA)

Yahya Djamour (1,2)
 R. Bayer (1), M. Dou (1), M. Peyret (1), F. Masson (1), F. Tavakoli (2)
 J. Hinderer(3) et B. Luck (3)

1. Laboratoire de Dynamique de la Terre, France
 2. Research Institute of National Cartographic Center (RINCC), Iran
 3. EOST, Strasbourg, France

Introduction

- ? Nombreuses évidences expérimentales: Bawden et al, 2001; Watson et al, 2002; Munekane et al, 2004
- ? Sur Téhéran: mesures piezométriques de 1993 à 2003
- ? données géodésiques: InSAR (98-99), Gravité (00-01-02), séries temporelles GPS (00-04), nivellement (97-01)

QUESTIONS:

1. Existe t-il une cohérence entre ces données?
2. Si oui, peut on utiliser des modèles hydromécaniques simples pour rendre compte des observations géodésiques?

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – modeling – conclusions

Introduction

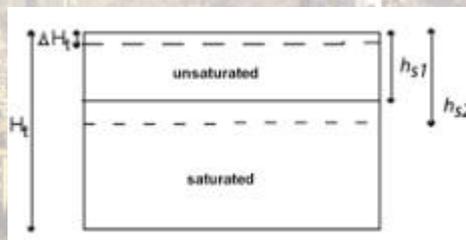
1. Un modèle physique simple
2. Description du système
3. Les données géodésiques
4. Modélisation de la déformation et des effets de gravité des transferts d'eau
5. Conclusions

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – modeling – conclusions

Physical mechanism in an aquifer system

Un modèle simple 1D pour expliquer la déformation verticale de la surface

$$\Delta H_t = f_{e, Cc, Ht}(\Delta h_s) \quad \text{où } \Delta h_s = \text{fluctuation du niveau piézométrique}$$



$$e = \frac{V_{void}}{V_{rock}}$$

C_c = indice de compaction

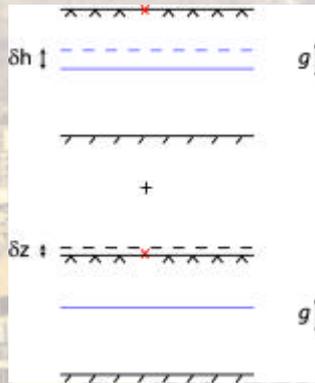
H_t = épaisseur de l'aquifère

Pour $H_t = 200 \sim 250 \text{ m}$
 $? H_t = \sim 5 \text{ mm}$ $\rightarrow e = 0.1 \sim 0.5; C_c = 0.005 \sim 0.0150$
 $? h_s = 3 \sim 4 \text{ m}$

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – modeling – conclusions

Physical mechanism in an aquifer system

Variations de pesanteur



Effet de transfert de masse:

$$dg = 2pgrp\delta h \approx 4,1\delta h \text{ mgal} \quad (p=e/(1+e)=10\%)$$

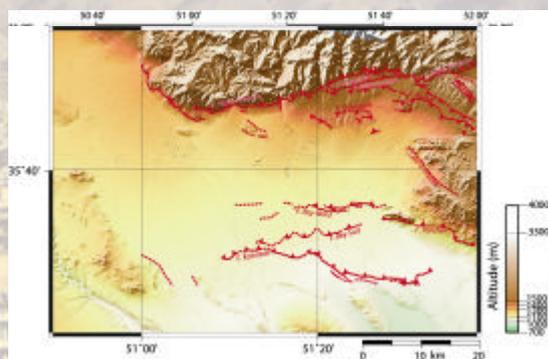
Effet d'air libre:

$$dg = -2\frac{g}{r}\delta z \approx -0,3\delta z \text{ mgal}$$

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – modeling – conclusions

System aquifer of Tehran plain (context and evolution)

Contexte géologique et tectonique

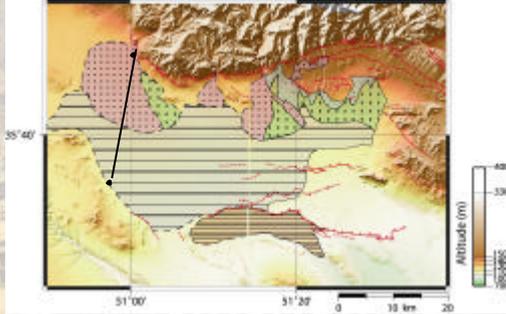


- Bassin d'avant chaîne de l'Aborz
- sédiments plio-quadernaires on consolidés
- nombreux chevauchements

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – modeling – conclusions

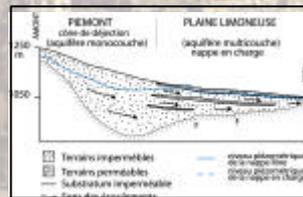
System aquifer of Tehran plain (context and evolution)

▪ **contexte hydrologique**



Carte simplifiée des aquifères d'après Engalenc, 1968

- 2 aquifères principaux

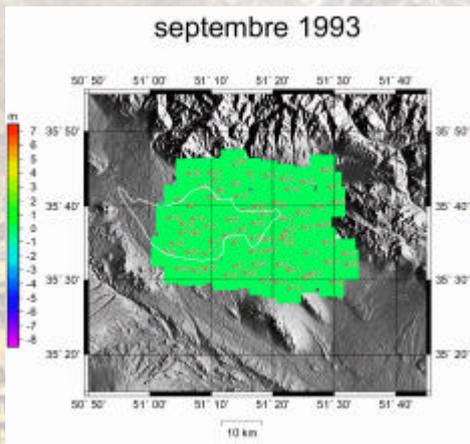


D'après Aghassi, 1979

introduction – physical mechanism – **aquifer system** – geodetic data – modeling – conclusions

System aquifer of Tehran plain (context and evolution)

Evolution du niveau superficiel des nappes entre 1993 and 2003

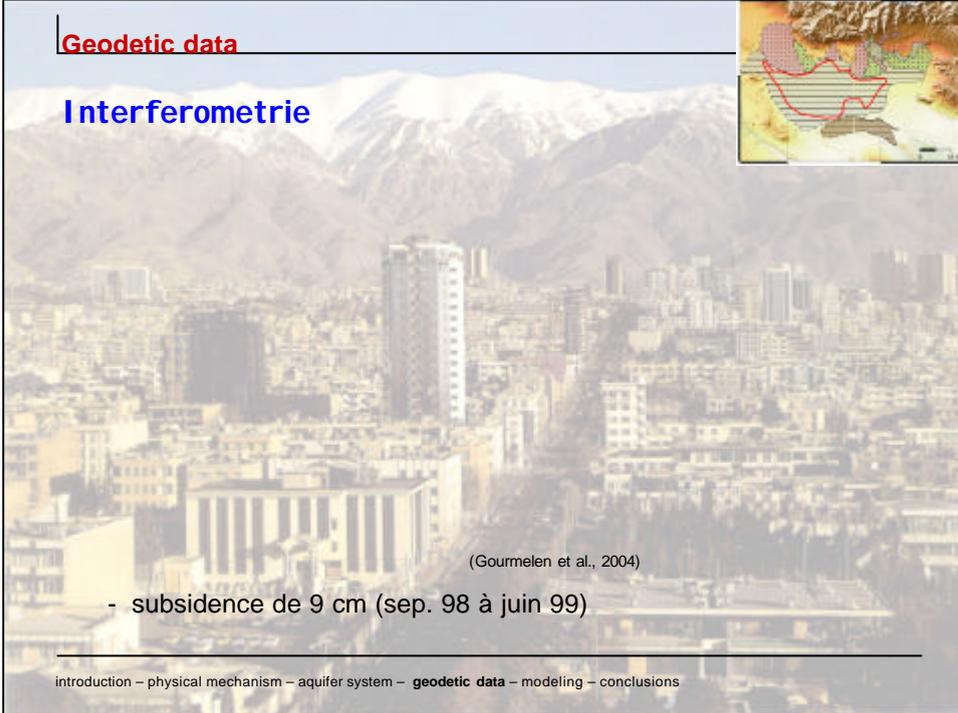


- Cycle annuel
- déficit d'eau au nord
- excès d'eau au sud

introduction – physical mechanism – **aquifer system** – geodetic data – modeling – conclusions

Geodetic data

Interferometrie



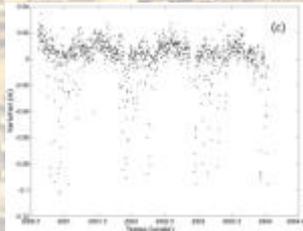
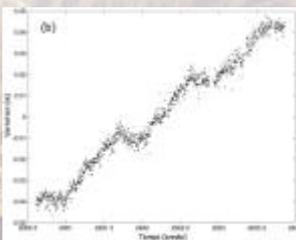
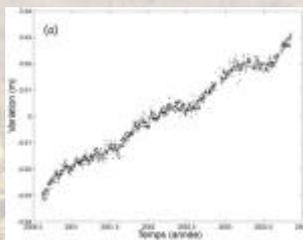
(Gourmelen et al., 2004)

- subsidence de 9 cm (sep. 98 à juin 99)

introduction – physical mechanism – aquifer system – **geodetic data** – modeling – conclusions

Geodetic data

Station permanente GPS au NCC (Téhéran)



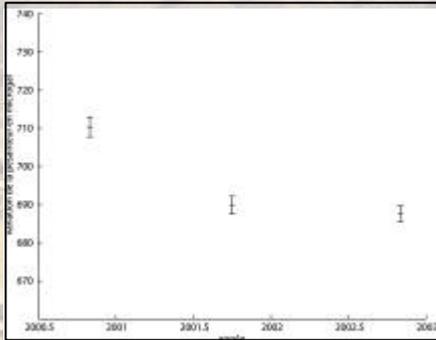
- séries temporelles d'aout 2000 à Janvier 2004
- variations saisonnières et à long terme des vitesses sur les 3 composantes
- Effet de dilatation thermique < 3 mm

Paramètre	North	East	Vertical
Vitesse (mm/yr)	16.94 ± 0.08	27.12 ± 0.13	-1.97 ± 0.30
Amplitude annuelle (mm)	2.27 ± 0.11	4.17 ± 0.18	5.64 ± 0.45
Phase annuelle (yr)	0.7988 ± 0.0074	0.5158 ± 0.0067	0.3170 ± 0.0128
Amplitude semi-annuelle (mm)	0.86 ± 0.10	1.19 ± 0.18	2.76 ± 0.45
Phase semi-annuelle (yr)	0.7934 ± 0.0199	0.1458 ± 0.0233	0.2204 ± 0.0256

introduction – physical mechanism – aquifer system – **geodetic data** – modeling – conclusions

Geodetic data

Pesanteur au NCC



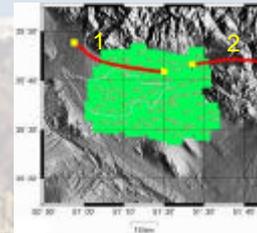
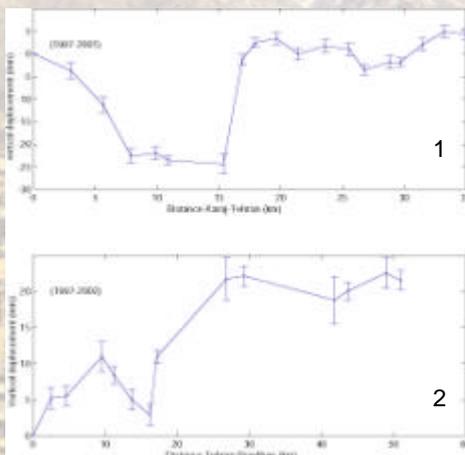
- 3 campagnes (oct. 00, sept. 01, oct. 02)

- décroissance de 22 mgal en 2 ans

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – modeling – conclusions

Geodetic data

Données de nivellement



- 1: ligne entre Karaj-Téhéran caractérisée par une subsidence relative de 25 mm entre 1997 et 2001

- 2: Ligne de nivellement entre Téhéran et Roudhen avec une subsidence relative de 20 mm à Téhéran entre 1997 et 2002

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – modeling – conclusions

Relations entre le niveau des nappes superficielles et les données géodésiques

- Variations saisonnières
- Variations à long terme

Surface deformation modeling

Un modèle simple poro-élastique 1D

$$\Delta H_t = \frac{C_c}{1+e} \left[\int_0^{h_{s1}} \log \frac{s_{e2}}{s_{e1}} \cdot dh + \int_{h_{s1}}^{h_{s2}} \log \frac{s_{e2}}{s_{e1}} \cdot dh + \int_{h_{s2}}^{H_t} \log \frac{s_{e2}}{s_{e1}} \cdot dh \right]$$

$$s_e = r_{rock} \cdot g \cdot h_{rock} - r_w \cdot g \cdot h_w$$

$$r_{rock} = \frac{1}{1+e} r_{rock} + \frac{e}{1+e} r_w$$

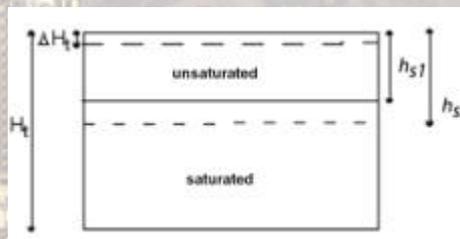
$$r_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$r_{rock} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$d_{rock} = \frac{r_{rock}}{r_w}$$

$$dh = h_{s1} - h_{s2}$$

C_c = indice de compaction
 e = pourcentage de vide



? H_t & dh → $H_t = 200-250 \text{ m}$
 $C_c = 0.0075-0.01$
 $e = 0.3-0.5$

Surface deformation modeling

Comparaison avec la composante verticale GPS à NCC

Variations théoriques de la surface du sol dues à l'évolution du niveau des nappes

- Avant décalage de 2 mois
- Après décalage de 2 mois

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – **modeling** – conclusions

Surface deformation modeling

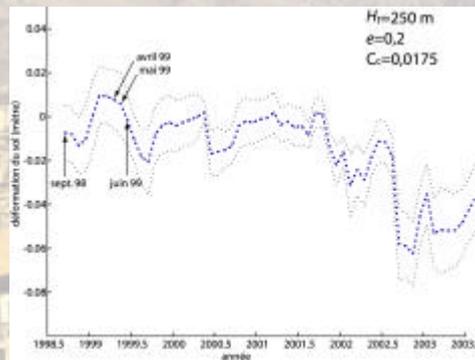
Comparaison avec les mesures de pesanteur

- La courbe théorique calculée au NCC est la résultante:
 - du changement du niveau piezométrique
 - des variations d'altitude observées par GPS

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – **modeling** – conclusions

Surface deformation modeling

Comparison with InSAR and leveling observations



→ Désaccord entre le modèle et les résultats InSAR

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – **modeling** – conclusions

Conclusions

- Au NCC les données géodésiques reflètent l'évolution de la nappe superficielle:
- Possibilité de contraindre la porosité et l'indice de compaction du sous sol
- Déphasage dans les signaux associés probablement au drainage de l'eau dans le sol
- Déformation 3D de la surface: "effet de bord" de l'aquifère?
- La subsidence observée par InSAR & nivellement ne peut pas être expliquée par le niveau superficiel de la nappe: effet mécanique de l'aquifère profond sous la partie centrale du bassin?

introduction – physical mechanism – aquifer system – geodetic data – modeling – **conclusions**



A suivre.....

???? ?????? ? ? ?