

Validation de la qualité de la réduction d' échelle de données satellitaires “GRACE” évaluant le stock d’eau souterraine - cas du Maroc



Travail présenté par **Arthur Peeters**
Responsable du stage : **Leblanc Marc**
Structure d’accueil : **Avignon Université**

Campus Jean-Henri Fabre, 337 chemin de Meinajaries, 84140 Montfavet & distanciel

Licence de Sciences de la Vie et de la Terre - parcours STE Faculté des
Sciences – Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse

07/06/2024

RÉSUMÉ

Pays d'Afrique du Nord, le **Maroc** subit les effets du réchauffement climatique. Sur ces territoires, la ressource en eau a tendance à se raréfier et la surveillance des **ressources souterraines** commence à avoir une place importante dans les stratégies de gestion de l'eau. Certaines méthodes sont en train d'être développées, c'est le cas de la **surveillance par satellite**. Marc Leblanc, enseignant-chercheur à l'université d'Avignon, fait équipe avec des membres de l'université Mohammed VI Polytechnique (UM6P) de Ben Guerir dans le but d'exploiter cette méthode. C'est ainsi que ce stage est mené en collaboration avec Marc Leblanc, Tarik Bouramtane (enseignant-chercheur à l'UM6P) et Youssef Hamou-Ali (doctorant à l'UM6P) afin d'aider à la maîtrise et l'utilisation de cette méthode à l'échelle du Maroc.

La mission GRACE

GRACE = Gravity Recovery and Climate Experiment

Mission employant deux satellites (NASA et agence spatiale allemande)

Mesure de la variation de distance entre les deux satellites \Rightarrow variation de masse à la surface de la Terre \Rightarrow variation de stock d'eau dans la colonne correspondante

Connaissance des variations de masse des eaux de surfaces, des neiges, et du sol \Rightarrow déduction de la variation d'eau souterraine

1 mesure par mois pour chaque point \Rightarrow série de données mensuelles

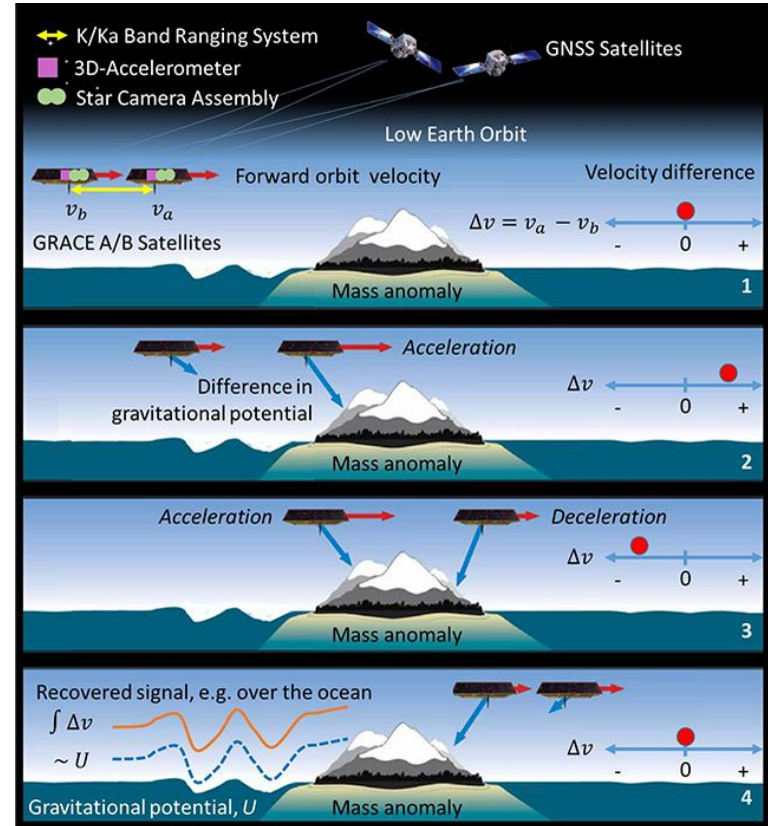
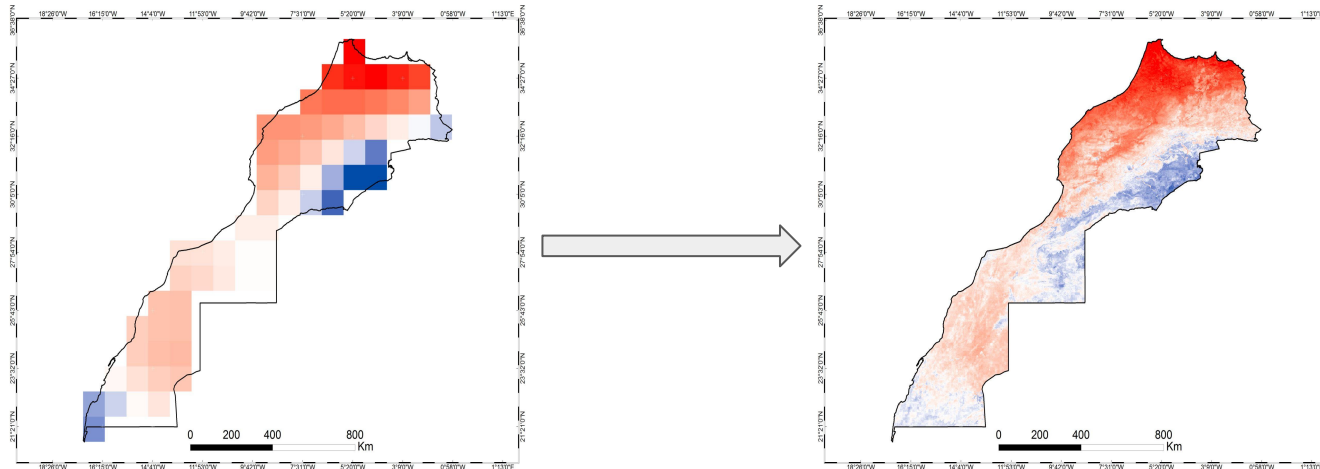


Schéma du fonctionnement de la mission GRACE

Améliorer la résolution = réduction d'échelle

Résolution initiale 100x100km : correcte pour des études à l'échelle mondiale, pas assez précise pour l'échelle régionale

Réduction d'échelle 100x100km → 1x1km à l'aide de modèles de machine learning par des intelligences artificielles (Random Forest, Artificial Neural Network)



Images raster représentant les données de résolution 100x100km avant réduction d'échelle (à gauche), et après réduction d'échelle à 1x1km (à droite). Par Youssef Hamou-Ali

Nécessité de vérifier la qualité de cette réduction d'échelle ⇒ sujet du stage

Contexte

Mots-clés : Maroc, stock d'eau souterraine, données GRACE, réduction d'échelle, validation

Objectifs

- 1) Recherche bibliographique pour confirmer le travail de synthèse réalisé par le doctorant
⇒ établir une synthèse bibliographique appuyée sur ce précédent travail

- 2) Application au cas du Maroc
⇒ employer les méthodes de validation jugées pertinentes et applicables

Recherche bibliographique

Grand nombre d'articles rapportant des études à travers le monde

Synthèse existante déjà très complète, validée et agrémentée de quelques arguments

Méthodes existantes pour vérifier la qualité de la réduction d'échelle et la valider :

- comparaison avec les données originales de stock d'eau (avant réduction d'échelle)
- comparaison avec les données piézométriques de terrain
- comparaison avec un modèle hydrologique
- utilisation des connaissances hydro(géo)logiques du terrain

Application des méthodes

Comparaison entre les données réduites et d'autres jeux de données à l'aide d'indices et de coefficients

Utilisation du logiciel RStudio

Ecriture d'un code (cf annexe) pour :

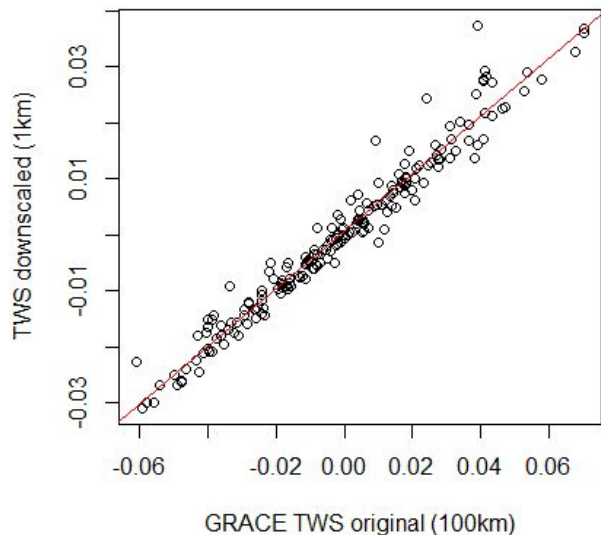
- tracer le graphique de répartition des points
- calculer le coefficient de détermination R^2
- donner la significativité de la corrélation



⇒ validation ou non par les données originales et les données piézométriques

Résultats

(Cet exemple est basé sur les données obtenues pour l'aquifère de Berrechid au Nord-Ouest du Maroc)



Répartition et courbe de tendance des données de stockage total d'eau réduites en fonction des données mensuelles originales issues de GRACE, Arthur Peeters

Très bon alignement des points, semble suggérer une forte linéarité entre les deux jeux de données

```
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 0.0007351  0.0002156   3.411 0.000791 ***
original    0.5132663  0.0077468  66.255 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:
  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.002989 on 191 degrees of freedom
(2 observations effacées parce que manquantes)
Multiple R-squared:  0.9583,    Adjusted R-squared:  0.9581
F-statistic: 4390 on 1 and 191 DF, p-value: < 2.2e-16

> summary(reg)$coefficients
              Estimate Std. Error t value
(Intercept) 0.0007351483 0.0002155512  3.41055
original    0.5132662586 0.0077468352  66.25496
              Pr(>|t|)
(Intercept) 7.910803e-04
original    9.761605e-134
> summary(reg)$r.squared
[1] 0.9583035
>
```

Sortie du code testant la corrélation entre les données mensuelles originales de stockage d'eau total issues de GRACE et les données réduites à 1x1km, Arthur Peeters

$R^2 = 0,9583035 \approx 0,96$ très proche de 1
Test de Student : $p\text{-value} < 2,2e-16 < 0,001$; avec un risque de se tromper de 0,1%, on conclut que les deux séries sont corrélées \Rightarrow réduction d'échelle validée

A suivre...

- Comparaison avec les données piézométriques (en cours)
- Comparaison avec un modèle hydrologique (à tester)
- Utilisation des connaissances hydro(géo)logiques de terrain (en fonction du temps)

⇒ Tester le plus de méthodes de validation possible pour tenter de les maîtriser

Conclusion

Stage permettant de développer de nombreuses compétences individuelles et collectives

- Recherche documentaire
 - Compréhension d'articles en anglais
 - Retenir l'information importante
 - Synthétiser et proposer des modifications

- Application des méthodes retenues
 - Développer, appliquer, conclure et présenter

- Présenter et expliquer un travail, des résultats

Annexe - code RStudio rédigé

```
1 #charger les librairies R nécessaires
2 library(MASS)
3 library(readr)
4
5 #charger les données (dans l'onglet 'files' penser à prérégler "set as working directory" sur le dossier dans lequel figure le fichier)
6 data <- read.csv("nomdufichier.csv")
7 attach(data)
8
9 #effectuer la régression linéaire
10 reg=lm(downscaled~original)
11
12 #tracer la répartition des points et la courbe de tendance
13 plot(original,downscaled,xlab="GRACE TWS original (100km)",ylab="TWS downscaled (1km)")
14 abline(reg,col="red",lwd=1)
15
16 #test de Student
17 summary(reg)
18 summary(reg)$coefficients
19 summary(reg)$r.squared
20
21 #test de Fisher passant par une ANOVA (analyse de variance)
22 anova(reg)
```