

Evaluation du couplage de l'Index ENSO Multivariable (MEI), avec la concentration en CO₂ et avec les variations de la longueur du jour [LOD]

<http://people.duke.edu/~ns2002/pdf/CO2-MEI-LOD.pdf>

A. Mazzarella(1), A. Giuliacci (1,2) and N. Scafetta (3)

(1) *Meteorological Observatory Department of Earth Science – University of Naples Federico II Largo S. Marcellino 10, 80138 Naples, Italy*

(2) *Epson Meteo Center, via de Vizzi 93/95, 20092 Cinisello Balsamo, Milan, Italy*

(3) *Active Cavity Radiometer Irradiance Monitor (ACRIM) Lab, Coronado, CA 92118, USA*

Duke University, Durham, NC 27708, USA

<http://people.duke.edu/~ns2002/pdf/CO2-MEI-LOD.pdf>

Résumé

L'oscillation El Niño sud [Pacifique] (ENSO) est la fluctuation climatique la plus forte sur Terre sur l'échelle inter-annuelle et elle a des impacts globaux bien qu'ayant pour origine le Pacifique tropical. Plusieurs indices ponctuels ont été mis au point pour décrire ENSO mais l'Index ENSO Multivariable (MEI) est considéré comme le plus représentatif car il relie six paramètres météorologiques différents mesurés sur l'ensemble du Pacifique tropical. Les valeurs extrêmes de MEI sont corrélées aux valeurs extrêmes des taux de variation de la concentration atmosphérique en CO₂ et négativement corrélées aux valeurs extrêmes des taux de variation à même échelle de la longueur du jour (LOD). Nous avons quantifié une fonction de conversion de premier ordre entre le MEI et les deux autres index en utilisant leur taux de variation annuel. La mesure de la force de ce couplage donne une évaluation quantitative pour tester la précision des modèles de prédictions. Nos résultats confirment en outre que les mécanismes majeurs locaux et globaux du système Terre-atmosphère sont significativement couplés et synchronisés les uns aux autres à de multiples échelles.

Mots clés : ENSO, MEI, El Niño, La Niña, LOD, CO₂

INTRODUCTION

Le modèle quasi oscillant le plus puissant observé dans le système climatique est El Niño-La Niña et il est couplé à de nombreux autres systèmes climatiques. De nombreuses études empiriques et théoriques ont essayé de découvrir ses influences multiples et de les modéliser dans les modèles de circulation générale (voir par exemple : Graf & Zanchettin, 2012 et leurs références).

Cependant, les modèles généraux de circulation courants ne reproduisent pas bien les structures observées dans les données climatiques telles que les tendances et les cycles sur des échelles de temps multiples (Douglass *et al.* 2007; Scafetta 2010, 2012b; Spencer & Braswell 2011). Les modèles échouent aussi dans la prévision de l'été à partir de l'hiver précédent et vice versa et sont incapables de simuler précisément et de prédire certains phénomènes importants tels que les oscillations quasi biennales et l'oscillation sud El Niño/La Niña (ENSO). Ces événements climatiques majeurs sont supposés engendrés par une dynamique interne mal comprise (Meehl *et al.* 2011), bien qu'une contribution d'un forçage astronomique harmonique ne puisse être exclue (Wang *et al.* 2012). En général, de nombreuses incertitudes affectent notre compréhension de la dynamique climatique (Curry & Webster 2011). Le système climatique est constitué d'une série de sous-systèmes couplés les uns aux autres et se comporte comme un réseau complexe d'oscillateurs non linéaires couplés, qui se synchronisent entre eux (Tsonis *et al.*, 2008 ; Wyatt *et al.*, 2001). Par exemple, Scafetta (2010, 2012a) a montré tous les enregistrements de températures de surface majeurs globaux, hémisphériques, terrestres et océaniques sont caractérisés par pas moins de 11 fréquences communes d'une période de 5 à 100 ans qui correspondent aux cycles astronomiques de l'héliosphère et de magnétosphère terrestre. Mazzarella & Scafetta (2012) ont montré que l'Index de l'Oscillation Nord Atlantique (NAO), la température océanique globale, la longueur du jour et un enregistrement des aurores [boréales et australes] observée à moyenne latitude, présentent des oscillations communes de quasi 60 ans depuis 1700, ce qui suggère aussi une origine astronomique pour les oscillations climatiques. Plusieurs autres exemples appuient l'importance de l'étude et de la quantification de la force de couplage d'observables physiques alternatifs. Naturellement, la modélisation empirique du changement climatique pourrait avoir plus de puissance prédictive que les traditionnels modèles analytiques. Une fois que la force de couplage entre les sous systèmes climatiques est correctement quantifiée, il serait possible d'évaluer comment des modèles physiques bien établis pourraient les reproduire. Ce procédé d'épreuve rendrait réellement les modèles théoriques meilleurs et plus pertinents.

Bacastow (1976) a trouvé que l'enregistrement du gaz carbonique atmosphérique est corrélé à l'index d'Oscillation Sud (SOI), ce qui montre qu'une partie du changement du taux de CO₂ est régulée par les oscillations des vents et de l'océan. Plus récemment, Zheng *et al.* (2003) ont conclu que les événements ENSO, les changements dans la longueur du jour (LOD), et le moment angulaire global de l'atmosphère sont corrélés. Néanmoins, Bacastow et Zheng *et al.* ont simplement évalué les coefficients de corrélation entre deux séries de données et leur décalage temporel réciproque. Cependant, une relation plus quantitative serait plus utile parce qu'elle pourrait être plus directement utilisée pour tester la précision des modèles.

Dans la suite nous étudions les relations mutuelles entre les données disponibles mensuelles récentes de l'Index ENSO (MEI) qui mesure l'oscillation El Niño Sud qui est la fluctuation climatique naturelle la plus forte sur terre aux échelles inter annuelles ; les teneurs atmosphériques en CO₂ à mesurées Mauna Loa ; et la longueur du jour qui est un observable astronomique global. Nous notons que le MEI est un indice plus intégrateur que SOI et ENSO. Nous utilisons une méthodologie mathématique semblable pour étudier les

corrélations mutuelles et les quantifier. Enfin nous discutons les phénomènes géophysiques sous jacents qui pourraient expliquer les résultats.

2. RECUEIL DES DONNEES

Nous avons analysé les données mensuelles de :

1. MEI (intervalle 1950-2011) recueilli par Wolter & Timlin (1993, 1998) (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/table.html>).

L'enregistrement est décrit dans la Fig. 1a. Chaque valeur mensuelle est basée sur des moyennes bimensuelles ; par exemple pour février 2000 la valeur est calculée sur les données de janvier et février 2000 (Wolter & Timlin 1993). L'index MEI est une mesure multi variables du signal ENSO. C'est le premier composant principal des 6 principales variables observées sur le Pacifique tropical : niveau de la mer, pression, composant zonal et méridional des vents de surface, température de surface de l'océan, température de l'air de surface et nébulosité du ciel. Les valeurs mensuelles de MEI sont standardisées par rapport à la période de référence 1950-1993 et exprimées comme fractions de la déviation standard dont la moyenne est donc égale à 0 et l'écart-type égal à 1.

2) CO₂ (ppm) données de concentrations mensuelles mesurées à Mauna Loa (lat: 19°32'10" N; long: 155°34'34" W; altitude: 3397 m; intervalle:1958-2011), ([ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/CO2/trends/CO2 mm mlo.txt](ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/CO2/trends/CO2_mm_mlo.txt)).

L'enregistrement est décrit dans la figure 1B.

3) Longueur du jour (LOD) (ms) (intervalle : 1962-2010) i.e. Différence entre la longueur astronomique du jour et la longueur standard (intervalle : 1962-2010) (Stephenson & Morrison 1995) (ftp://hpiers.obspm.fr/eop-pc/eop/eopc05/eopc05_daily)

L'enregistrement est décrit dans la figure 1c.

3 Méthode et résultats

3.1 Analyse de long terme

Les trois courbes décrites dans la Fig. 1 sont très différentes. L'index MEI fluctue de manière irrégulière autour d'une moyenne zéro. L'enregistrement de teneur en CO₂ présente une tendance croissante claire due à l'ajout des gaz anthropiques, plus une plus petite oscillation due à l'anomalie physique entre les hémisphères nord et sud. La LOD décroît et présente un cycle annuel plus une modulation cyclique annuelle avec une période de 18-20 ans, qui, peut-être, pourrait être d'origine astronomique, par le cycle nodal solaire-lunaire de 18.6 ans ou d'autres cycles astronomiques (Douglass *et al.* 2007) (nous n'irons pas plus loin dans cette discussion dans ce papier). Les structures observées dans les enregistrements originaux décrits dans la figure suggéreraient que les trois séries sont fortement non corrélées : la corrélation croisée entre MEI et CO₂ est $r=0.08$; MEI-LOD donne $r = 0.01$; CO₂-LOD donne $r = -0.69$, qui est largement négative seulement parce qu'une série (CO₂) a une tendance croissante alors que l'autre (LOD) a une tendance décroissante sur la période considérée. Les paramètres de la ligne de régression des moindres carrés pour les trois séries de données, sont résumés dan le tableau 1.

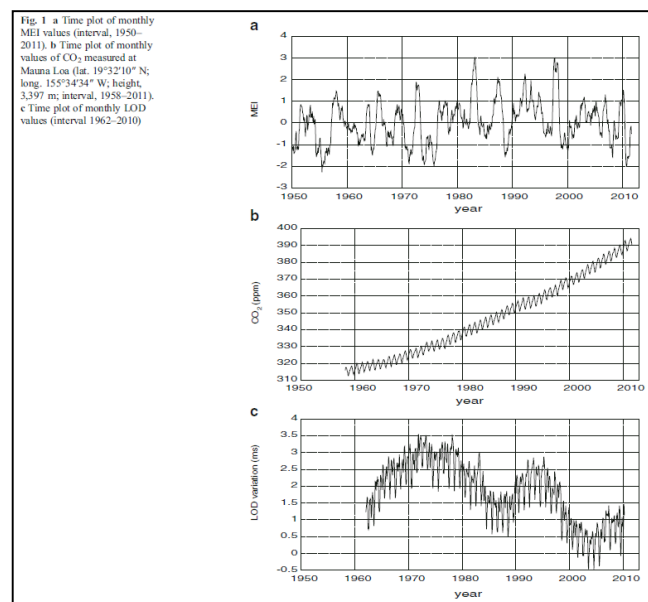


Fig. 1 a Série temporelle des valeurs mensuelles de MEI (intervalle 1950-2011) b Série temporelle des valeurs mensuelles de CO₂ mesurées à Mauna Loa (lat. 19°32'10" N ; long. 155°34'34"O ; alt. 3397m ; Intervalle 1958-2011). C Série temporelle des valeurs mensuelles de LOD (intervalle 1962-2010)

Table 1 Parameters of mean square regression line of annual values of MEI, CO₂ and LOD on time, from 1962 to 2010, according to the function $I(t)=m(t-1962)+n$

	<i>m</i>	<i>n</i>
MEI	0.012±0.003	-0.18±0.09
CO ₂ (ppm)	1.48±0.01	309.7±0.3
LOD (ms)	-0.042±0.002	2.93±0.06

Les résultats ci-dessus suggéreraient qu'il n'y a pas de relation simple entre ces trois séries de données.

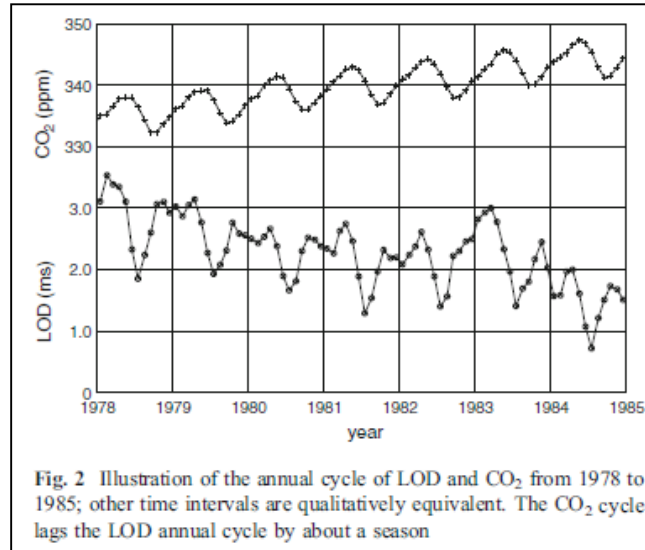


Fig. 2 Illustration des cycles annuels de LOD et CO₂ entre 1978 et 1985 ; d'autres intervalles de temps sont qualitativement équivalents. Le cycle du CO₂ suit le cycle annuel de LOD d'environ une saison.

3.2 Analyse annuelle du cycle saisonnier

Le MEI ne présente pas de variabilité cyclique annuelle régulière évidente. Chacune des six séries temporelles [qui le composent] est « *normalisée par calcul informatique des anomalies bimensuelles par rapport à la moyenne de long terme* » (Wolter & Timlin 2011). Au contraire, CO₂ et LOD présentent un cycle annuel clair.

La LOD suit très précisément le cycle annuel avec des valeurs maximums pendant l'hiver et minimum pendant l'été, alors que le CO₂ présente des valeurs maximales au printemps (avril-juin) et minimales en septembre et octobre (voir Fig. 2 où, par convenance visuelle, nous comparons deux séries de données entre 1978 et 1985).

Le cycle annuel de CO₂ peut être facilement expliqué par l'observation que d'octobre à avril l'hémisphère nord (NH) se refroidit tandis que l'hémisphère sud (SH) se réchauffe. A cause de la localisation de la plupart des terres dans NH et de la majorité des océans dans SH, la concentration atmosphérique est attendue décroissante d'octobre à avril parce que à la fois les plantes dans NH et l'océan plus chaud dans SH absorberaient moins de CO₂ de l'atmosphère. La situation inversée se produirait de mai à septembre. La variation annuelle de LOD a été discutée de façon extensive la première fois par Lambeck (1980), qui identifia la circulation variable des vents zonaux, comme cause du cycle saisonnier de la LOD. Le cycle annuel de la LOD est relié au cycle annuel de température. En fait, pendant l'hiver de l'hémisphère nord, la terre est à sa distance la plus proche du soleil et l'irradiance totale incidente est en moyenne environ 40 w/m² plus grande que durant l'été.

Ainsi peut-être que durant l'hiver la température globale de la planète entière (océan plus atmosphère) croît, changeant les vitesses des vents ce qui pourrait entraîner un échange de moment angulaire entre l'atmosphère et la terre. (Rosen & Salstein 1985). La LOD présente aussi un cycle clair de 6 mois qui est une sous-harmonique du cycle annuel qui pourrait être reliée à l'harmonique solaire semi-annuelle des marées dont l'analyse détaillée est réservée pour une autre étude.

3.3 Analyse des taux annuels de variation

Le manque de corrélation linéaire entre les trois variables ne devrait pas signifier que ces variables ne soient pas couplées. Bien sûr un fort couplage pourrait exister, mais il est simplement non-linéaire. Ici, nous allons enquêter pour savoir s'il existe une meilleure corrélation entre MEI, LOD et CO₂ en utilisant leur fonction de variation de taux annuel.

Nous procédons de la manière suivante : d'abord nous traitons le signal pour éliminer les grandes variations saisonnières identifiées dans CO₂ et dans LOD en prenant une dérivée annuelle du signal. C'est à dire que nous calculons par ordinateur la différence de valeur entre janvier 1963 et janvier 1962, entre la valeur de

février 1963 et celle de février 1962 et ainsi de suite pour chaque mois et chaque année. La valeur est centrée sur la moyenne de l'intervalle choisi : par exemple, la différence entre jan/1963 et jan/1962 sera centrée $0.5 \cdot (1963.04 + 1962.04) = 1962.54$. A la fin nous obtenons une série mensuelle des taux annuels de la variation de CO₂ et LOD. La figure 3a décrit la série temporelle de MEI et celle des taux annuels de variation de CO₂. La figure 3b la série temporelle de MEI et celle des taux annuels de variation de LOD.

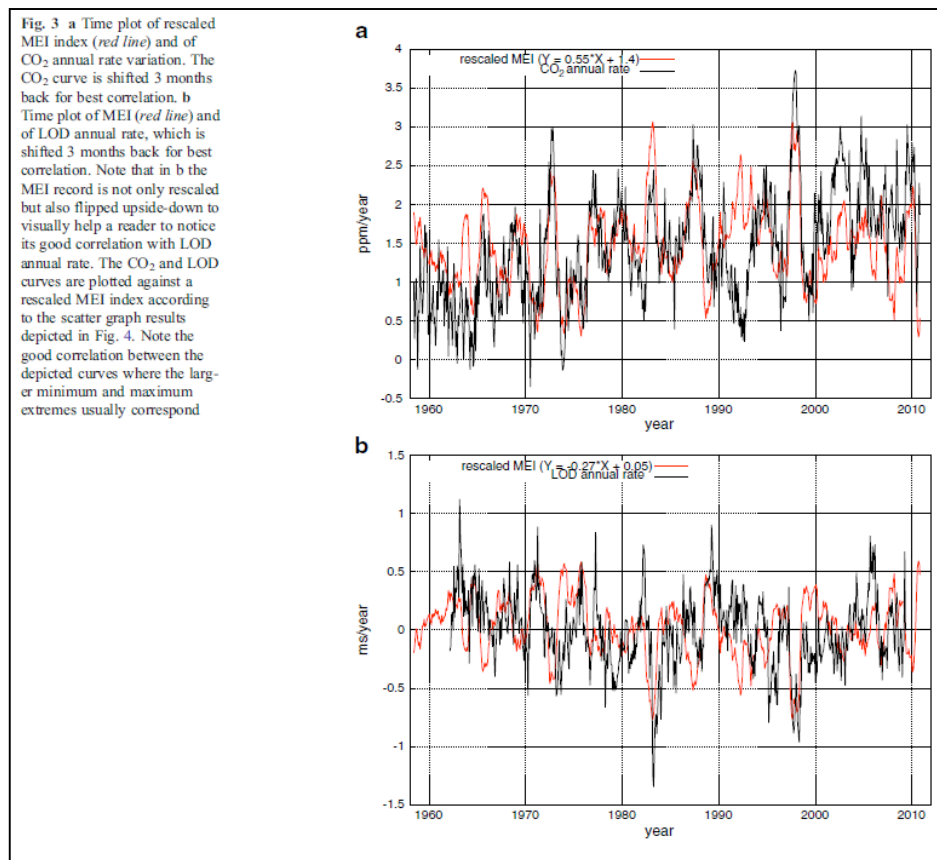


Fig. 3 a Série temporelle du MEI re-calibré (ligne rouge) et du taux de variation annuel du CO₂. La courbe du CO₂ est reculée de 3 mois pour une meilleure corrélation. b Séries temporelles du MEI (courbe rouge) et du taux annuel [de variation] de la LOD, qui est reculée de 3 mois pour une meilleure corrélation. Noter qu'en b, l'enregistrement du MEI est non seulement re-calibré mais aussi renversé de haut en bas pour aider le lecteur à remarquer sa bonne corrélation avec le taux annuel de la LOD. Les courbes de CO₂ et de la LOD sont comparées à l'index MEI re-calibré en tenant compte des résultats du graphique de dispersion décrit dans la Fig. 4. Noter la bonne corrélation entre les courbes présentées où les plus grands extrêmes minimaux et maximaux correspondent généralement.

Nous observons une très bonne corrélation entre les valeurs extrêmes, telles que pour les forts événements El Niño de 1998. Il faut noter la bonne synchronisation avec les événements El Niño tels que 1965, 1972, 1983, 1987 et 1998 et avec ceux correspondant aux La Niña. Dans la figure, le CO₂ suit le MEI de 3 mois (meilleur coefficient de corrélation, $r = 0.49$), alors que la LOD suit le MEI de 4 mois (meilleur coefficient de corrélation, $r = -0.34$). Les deux coefficients de corrélation sont hautement significatifs ($P(|r| > |r_0|) < 0.01$). Ce résultat suggérerait que les changements des taux de la LOD et du CO₂ soient commandés par les oscillations du MEI. Il apparaît que, trois mois après tous les événements El Niño, le taux de variation de CO₂ atteint un pic à l'exception de l'intervalle autour de 1991, et que tous les événements La Niña soient suivis par les plus faibles valeurs de CO₂. Une argumentation similaire peut être répétée pour le taux annuel de l'index de la LOD.

Pour expliquer l'absence de synchronisme autour de 1991, il faut noter qu'une violente éruption du Mont Pinatubo (15°08' 30" N; 120°21' 00" E; 1,745 m asl), situé à la même latitude tropicale et au vent vers Mauna Loa, a commencé en juin 1991. Ce fut la seconde en importance du vingtième siècle et elle a été classée d'un index d'explosivité de 6. Pendant quelques années après une éruption volcanique majeure (i.e., quand il y a beaucoup d'aérosols sulfatés dans l'atmosphère), la respiration hétéro-trophique décroît en raison de l'abaissement des températures de surface et la productivité des écosystèmes forestiers s'accroît sous l'effet d'un rayonnement lumineux diffus renforcé.

Ces deux mécanismes conduisent à une anomalie négative du taux de croissance de la teneur en CO₂ qui pourrait expliquer l'absence de synchronisme entre le MEI et le CO₂ dans l'intervalle 1991-1993 (Patra *et al.* 2005).

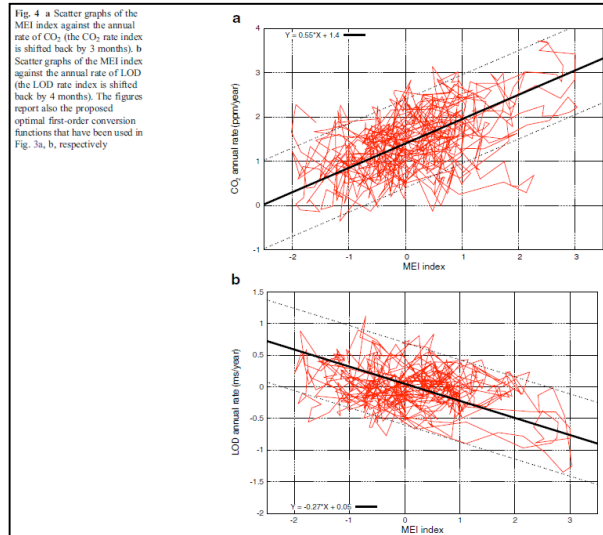


Fig. 4 a Graphique de dispersion de l'index MEI contre la variation du taux annuel du CO₂. (l'index de taux de CO₂ est reculé de 3 mois). b Graphique de dispersion de l'indice MEI contre le taux annuel de la LOD (l'index de taux de CO₂ est reculé de 4 mois). Les figures montrent aussi les fonctions de conversion de premier ordre qui ont été utilisées dans la Fig. 3 a, b, respectivement

La figure 4a suggère que, en première approximation, la variation du taux annuel de CO₂ peut être obtenue à partir du MEI en multipliant cette dernière par $K = 0.55$ ppm/an. La figure 4b suggère que, en première approximation, le taux de variation de la LOD peut être obtenu à partir du MEI en le multipliant approximativement par $K = -0.27$ ms/an. Les deux fonctions de conversion de premier ordre sont décrites dans la Fig. 4a, b et sont utilisées pour préparer les comparaisons graphiques de la Fig. 3a, b.

4 Discussion et conclusions

L'ENSO est la fluctuation climatique naturelle la plus forte sur terre aux échelles de temps inter annuelles. C'est un phénomène atmosphérique et océanique complexe qui a des conséquences économiques et sociales profondes (Wang & Fieldler 2006). Cependant, l'ENSO est bien décrit par le MEI qui combine six variables météorologiques représentatives mesurées dans le Pacifique tropical. Les modèles courants de circulation générale (GCM) ne sont pas capables de reproduire ou de prévoir les oscillations océaniques comme les événements ENSO. Cette faillite pourrait être due à une compréhension insuffisante des oscillations océaniques, de leur mécanisme physique et des véritables forçages (Scafetta 2010, 2012c ; McLean 2009). Il a été proposé que l'ENSO soit un mode stable d'oscillation commandé par des désordres aléatoires (Philander & Fedorov 2003). Les oscillations ENSO pourraient aussi être interprétées en terme d'état critique auto-induit (Mazarella & Giuliacci 2009). Cependant, les forçages complexes cycliques astronomiques et de marées, aujourd'hui ignorés dans les modèles climatiques, pourraient être significativement impliqués dans le processus (Scafetta 2010, 2012a, 2012b ; Wang *et al.* 2012). Ainsi, il est important d'analyser les données en détail pour identifier tous les mécanismes physiques qui pourraient être impliqués dans le processus.

Ici, nous avons étudié trois indices géophysiques : données du MEI, de la LOD et du CO₂. Nous avons montré que les taux de variation annuels de la LOD et du CO₂ sont bien corrélés au MEI.

Dans la Fig. 4, nous avons quantifié les facteurs de conversion et montré leur bonne correspondance dans la Fig. 3.

Les valeurs les plus élevées du MEI montrent une relation directe et inverse avec les plus fortes valeurs des taux de variation annuels de CO₂ et LOD, se produisant respectivement juste quelques mois après (Fig.3). Puisque les plus fortes valeurs de MEI représentent les événements El Niño, les résultats obtenus ici montrent l'influence d'El Niño sur le CO₂ et sur la LOD. Il faut noter que les événements El Niño correspondent à une augmentation de la température de surface de l'océan et à un affaiblissement des alizés d'est (Wang & Fiedler 2006 ; Deser & Wallace 1990 ; Wallace 1998). Mais, un affaiblissement des alizés d'est entraîne un accroissement du vent zonal (Mazzarella 2008, 2009) qui, comme un torque, cause une accélération de la rotation terrestre, i.e., une diminution de la LOD. Egalement, une augmentation de température de surface de l'océan cause une solubilité plus faible du CO₂ et donc une concentration plus élevée dans l'atmosphère.

Nous proposons que la nature et l'amplitude de ces corrélations, ici évaluées soient utilisées pour valider tout modèle analytique tentant de reproduire le système climatique dans ses effets et composants.