Geo-Eco-Trop., 2014, 38, 2: 271-288

La Continentalité en Arabie saoudite. Evaluation et distribution spatiale.

Continentality in Saudi Arabia. Evaluation and Spatial distribution.

Jehad KERBE[1]

Abstract : The Continentality concept is extremely important for understanding the specificity of the different climatic areas in Saudi Arabia. The study of continentality problem requires the search of the best models to explain a climate variability principally marked by aridity because humid marine influence is strongly reduced..
From several possibilities, it seems that the CONRAD and GORESINSKY existing formulas are the best ones for model making of Saudi Arabia continentality. For highlighting the climatic distribution of that one were targeted the key-days of spring and autumn equinoxes and those of summer and winter solstices.
Then, according to these facts and, by using the daily weather data recorded by all the stations of Arabia, a GIS program allows to realize maps of inter-seasonal continentality where are considered temperature and humidity ranges. So, through various models is established a spatial mapping analysis daily suitable of this problem in Saudi Arabia.

Key Words : Saudi Arabia, Continentality, Kriging, Evaluation, Conrad and Goresynski formulas, GIS, Spatial distribution.

Résumé : L'ensemble du territoire d'Arabie Saoudite manque de recherches en géographie physique, en particulier des recherches en climatologie. La continentalité ne s'exprime pas uniquement par l'absence d'humidité, ni des températures peu ou très élevées. Une ambiance définie par la somme des influences des espaces continentaux sur les masses d'air et le pouvoir dénaturant de la géographie des surfaces arides, crée l'originalité des climats d'Arabie Saoudite où le rôle des espaces maritimes en tant qu'humidificateur est réduit au minimum.
Le présent travail consiste à évaluer la continentalité du pays par des formules déjà existantes, puis de mettre en évidence l'image de la variabilité au début des saisons, les jours des solstices et d'équinoxes. L'usage de l'SPSS (Statistical Packages for Social Sciences) s'est révélé efficace afin de déterminer le choix de meilleures formules (en l'occurrence ici celles de CONRAD et de GORESYNSKI) parmi celles qui sont connues dans la littérature scientifique, tandis que l'usage du SIG s'est avéré utile pour entreprendre une analyse spatiale cartographique des indices calculés à l'échelle quotidienne.

Mots clés: Arabie Saoudite, Continentalité, Krigeage, Evaluation, Formule de Conrad, Formule de Goresynski., SIG, Répartition spatiale.

INTRODUCTION.

La palette climatique d'Arabie Saoudite est caractérisée par une composante continentale très importante ce qui constitue un des paramètres climatiques essentiel du pays. Cette tendance se matérialise par l'existence de nuances dictées par la persistance de la sécheresse, prédominante sur le territoire, ce qui influe sur l'environnement. Ainsi, le milieu physique se singularise climatiquement par sa monotonie, mais aussi par sa pauvreté biologique relativement extrême. Un travail de recherche a été élaboré afin d'expliquer la cause du phénomène. L'aridité due à la continentalité ne dépend pas forcément de la structure de la circulation atmosphérique.

[1]Pr. Dr., KERBE Jehad, Umm Al-Qura Université, Département de Géographie, j.kerbe@live.fr

Sa perception, à l'échelle du pays, peut se révéler d'une grande utilité, eu égard aux développements des secteurs agricole et industriel. En outre, afin de définir le rôle de la continentalité dans la diversité climatique du pays, il est nécessaire d'élaborer une étude comparative de son image spatiale durant des périodes distinctes de l'année. Il est important pour un pays aride, de voir les changements qui s'opèrent au début de chaque saison, c'est-à-dire les jours de solstice et d'équinoxe. La continentalité est une notion climatique devenue une caractéristique agro-climatique de l'environnement saoudien. Il est donc important d'analyser les images de la variabilité spatiale, afin de démontrer le niveau réel des influences maritimes, qui sont bien réduites, par rapport aux influences du continent sur les ambiances climatiques.

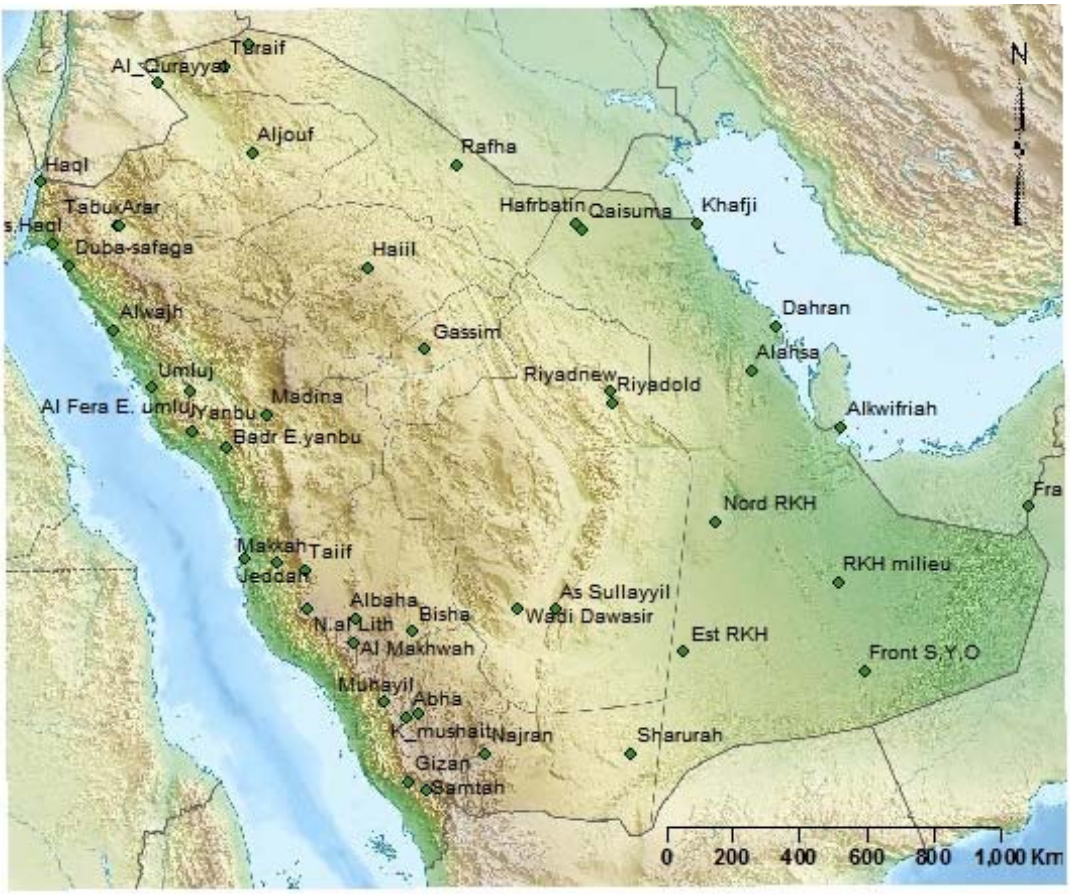
Chercher à établir l'image précise de la variabilité spatiale de la continentalité mène à démontrer comment s'effectue la configuration de l'altération des masses d'air dans les noyaux de climats d'extrême aridité, surtout pour des périodes critiques où s'opèrent de véritables changements.

Ce travail de recherche tente de démontrer et de quantifier, à travers l'usage du SIG, l'emprise continentale dans une région ou les climats sont les plus arides sur terre. Il s'agit, dans un premier temps d'adopter et de paramétrer une des formules existantes dans la littérature scientifique qui permette l'évaluation quantitative de la continentalité. Ensuite d'utiliser des données de mesures des éléments atmosphériques à l'échelle quotidienne, afin d'obtenir une évaluation journalière précise des indices. Ceci aide à venir au but recherché : élaborer une étude comparative entre images de la variabilité spatiale de la continentalité pendant les jours où des changements climatiques majeurs sont liés au changement astronomique des saisons. Définir et comparer la continentalité selon des périodes extrêmes, définir le modèle de pénétration spatiale réelle de l'humidité à l'intérieur du territoire continental, tel sont les ambitions de ce travail.

ESPACE D'ETUDE

Il s'agit de l'ensemble du territoire saoudien grand d'environ 2.114.000Km^2, limité par des espaces maritimes étroits comme le couloir de la mer rouge, et la mer du Golfe. Cette dernière constitue une sorte d'énorme lac situé au milieu d'espaces continentaux qui l'enveloppent, réduisant ainsi son influence maritime, c'est-à-dire son pouvoir d'humidification de l'air ambiant. Par ailleurs, le rôle du continent réside dans son pouvoir dénaturant, c'est-à-dire asséchant et stabilisant les masses d'air qui traversent les énormes espaces continentaux du pays. En fait, l'humidification se fait sentir uniquement sur une bande côtière le long des plages. La question qui se pose est de savoir si les données du réseau de stations météorologiques existant sont capables de démontrer l'image que l'on cherche à établir, à savoir la variabilité spatiale de la continentalité sur des espaces d'extrême aridité et de forte amplitude thermique. Il s'agit, en l'occurrence, de pouvoir consulter et d'acquérir les données quotidiennes d'un nombre valable de stations pouvant refléter cette variabilité spatiale ainsi que la tonalité des transitions selon les types de climats prédominants.

La météorologie saoudienne est encore dans un stade d'évolution, le réseau actuel de stations de mesure au sol présentant un maillage encore trop large, faute de cadres mais aussi à cause de fausses idées concernant l'homogénéité climatique du pays qui élargit la représentativité spatiale de chaque station. Nous avons donc fait usage de l'ensemble des données quotidiennes existantes, pour un total de 27 stations météorologiques (cf. la carte simplifiées de la situation géographique du pays). L'outil ArcGis permet, par le système Krigeage (Spatial Analyst), de représenter l'image des cette variabilité et de quantifier les espaces selon le degré de leur continentalité évaluée par le biais des meilleures formules testées.



Carte simplifiée de l'Arabie Saoudite et points de mesures utilisés

METHODE APPLIQUEE

En s'appuyant sur les données quotidiennes pour l'ensemble des stations de la Météorologie saoudienne pour la période allant de janvier 1986 à décembre 2012, ce travail est basé sur des résultats bruts et non sur des moyennes que l'on peut manipuler selon les buts recherchés. Comme la notion de la continentalité s'évalue sur base de formules existantes dans la littérature scientifique, des recherches bibliographiques et la consultation de publications électroniques via Internet se sont imposées afin de cerner ces formules, de les tester, puis de choisir celles applicables pour le territoire de l'Arabie. La nature d'extrême rigueur thermique du climat et les caractéristiques qu'on cherche à définir et à analyser, contraint à manipuler des données volumineuses rendant obligatoire l'emploi des modules statistiques de " l'SPSS " (Statistical Packages for Social Sciences), bien connu par les chercheurs. Ces modules ont rendu les tests et les comparaisons entre les résultats obtenus par les formules sélectionnées, rapides, bien accomplis et relativement aisés à obtenir et à interpréter.

L'ensemble des formules testées démontre des valeurs élevées des indices de continentalité, non seulement à l'échelle quotidienne mais aussi à l'échelle des moyennes mensuelles. Ceci confirme le vecteur climatique des climats d'Arabie et incite non seulement à son évaluation mais aussi à démontrer sa variabilité spatiale car il s'agit, dans l'ensemble, d'une zone d'aridité absolue. Ce sont donc les données brutes quotidiennes et non les moyennes mensuelles des éléments climatiques qui ont été utilisées pour tester l'ensemble des formules, puis la moyenne des indices quotidiens a été calculée pour caractériser les périodes de solstices et d'équinoxe. Les moyennes seront adoptées pour l'étude comparative et pour préciser les différences entre les images de variabilité spatiale de faits climatiques dus aux changements astronomiques des saisons.

Définition de la continentalité

Le problème qui se pose est de savoir si les milieux scientifiques possèdent la même définition de la continentalité que celle proposée par des chercheurs qui ont tenté de l'évaluer par différentes formules reprenant des éléments qui président au développement du phénomène. Ces formules sont toutefois des relations mathématiques discutables, vu les différences entre résultats ou indices obtenus par l'application de chaque formule sur une région donnée. Il nous semble logique de se limiter aux travaux de publications importantes comme les publications concernant la ***définition de la continentalité de la Météorologie britannique publiée à Londres en 1939*** [2] ***:***

"In meteorology, a measure of the extent to which the climate of any place is influenced by its distance from the sea. The influence of continentality is more clearly shown as the diurnal and annual ranges of temperature, which are large in continental climates. Since water has a high specific heat and still more because the exchange of heat goes to a much greater depth in water than in land, the temperature of a water surface can vary only slowly compared with the temperature of a land surface. The latter absorbs and radiates heat readily, and its temperature can therefore vary through a considerable range even within 24 hours. Measures of meteorological continentality have been derived by Brunt and others, based on either the mean daily range of temperature or the mean range in relation to the latitude"

En consultant le glossaire scientifique de l'Association américaine de la Météorologie [3] ***nous obtenons les définitions suivantes:***

"Continentality in climatology, the degree to which a point on the earth surface is in all respects subject to the influence of a landmass; the opposite of oceanicity (or oceanity). Continentality usually refers to climate and its immediate consequences. Usually, it is measured by the range of temperature, either the daily range or the difference temperatures of the warmest and coldest months. Since the latter increases with the latitude, a convenient measure is the annual range of temperature divided by the since of the difference between the January and July means for the whole circle of latitude".

En fait, la continentalité indique un ou des climats continentaux, très peu influencés par les courants humides ou océaniques mais elle reflète aussi le rôle joué par le milieu géographique, notamment les facteurs d'exagération du relief et de la surface du sol. Les phénomènes engendrés par l'interaction entre la surface du sol et les éléments climatiques générant d'importants réchauffements différentiels donnent souvent lieu à la naissance de flux d'airs locaux chauds et secs souvent accompagnés de sable. Ces flux d'air renforcent la dégénérescence de la qualité de l'air le rendant encore plus sec. Un bel exemple concerne le cas qui se présente tout au long de la façade ouest maritime du pays, nommée « Plaine côtière de Tihama » large de 5 à 20 km, entre la mer rouge et la chaîne de montagne "Al-Hijaz". Les altitudes de cette chaine montagneuse varient entre 3000 m au sud au sommet d'Al-Soda et de 1000 à 1500 m au nord de la latitude de Jeddah, créant une barrière limitant la pénétration de l'air maritime à l'intérieur du territoire saoudien. Aussi, sur ces plaines, un réchauffement diurne intense se produit, provoquant un fort flux maritime d'ouest, qui au lieu d'adoucir leur climat, se charge de sable et contribue à renforcer la rigueur climatique, tout au long de la façade de la mer Rouge, incapable d'humidifier l'air sous l'influence continentale extrême.

En effet, l'Arabie dépend du régime polaire de circulation synoptique de l'hémisphère nord, c'est à dire d'une circulation atmosphérique d'ouest et du nord-ouest dominante, dans une année moyenne.

---

[2] Metrological office, (1939), The Meteorological Glossary, third edition, Air Ministry, M.O. 225ii (A.P.897), published by the Authority of Meteorological Committee Crown, LONDON.

[3] American Meteorology Society Glossary of meteorology: http://amsglossary.allenpress.com/glossary/search?

Dans ce pays de grandes étendues où les amplitudes thermiques deviennent énormes, il n'est pas rare de voir ces amplitudes dépasser les 25°C, surtout pendant les saisons de transition voire même pendant les saisons d'hiver. A cet égard, on pourra évoquer la déperdition nocturne rapide de la température de l'ensemble sol-air sous un ciel dépourvu de nuage avec un faible taux d'humidité, mais aussi une végétation presque inexistante au-dessus d'une couverture de sable ocre prédominant dans le paysage.

Littérature

Pour le territoire d'Arabie Saoudite très peu de travaux de climatologie ont été publiés (ALJARRASH, 1984). Cependant, et afin de toucher directement au sujet traité on citera ceux de KERBE (1987,1988,1989,2004,2007,2010,2013) et de BADRUDDIN (1990,1997,2008,2010) soit les deux chercheurs dont les publications prédominent dans la littérature climatique du pays. Il est à noter cependant que l'ensemble des recherches publiées le sont en langue arabe, ce qui limite leur exploitation à l'échelle internationale ; d'où l'initiative d'entreprendre de publier cet article en langue française.

Formules de continentalité existantes

Pour ce faire l'ensemble des documents disponibles ont été utilisés afin de détecter les formules ayant une importance sur l'espace géographique. A cet égard, les travaux de FAIRBRIDGE & RHODS, 1987[4] et de BARRY & CHARLEY, 1976[5] se sont révélés particulièrement utiles, complétés par des recherches sur des sites Internet. Cela a permis d'établir une liste des formules existantes (voir ci-dessous[6]) à tester et à considérer comme applicables en Arabie.

Les formules de CONRAD et de GOREZYNSKI respectivement, se sont révélées les meilleures au regard des tests pratiqués. Elles mettent en évidence les amplitudes des valeurs des indices quotidiens relatifs à l'ensemble des jours d'une période considérée et pour toutes les stations du pays.

- Formule de Conrad: la valeur de l'indice quotidien la plus basse est de 9.68 et la plus élevée 99.03.
- Formule de Gorezynski: la valeur de l'indice quotidien la plus basse est de 16.26 et la plus élevée 93.81.

---

[5] John E., Fairbridge & W. Rhods., (1987), The Encyclopedia of Climatology, NY, Van Nostrand Reinhold company Inc.
[6] Barry R .G & Charley R.J., (1976), Atmosphere, Weather and Climate, Third Edition, Methuen and Co, Ltd, London.
-http://www.globalbioclimatics.org /from /indices.htm
-http: // www. eduspace.esa.int

[6] Zenker's Model, (1888): K=100(A)/Lat, Gorezynski's Model, (1920): K= (1.7(A)/sin lat) – 20.4
Johansson's Model, (1931): K = (1 .6A/sin Lat) – 14, Gam's Model, (1932):[6] K= tang (A) = p / Alt.
Conrad's Model, (1946):[6] K=1.7(A) /sin (Lat + 10) -14, Ivanov's Model, (1959): K = (100Ay) + Ad+ (0.25 D) / (0.36 Lat) + 14, Evert's Model, (1966): K= 100[((A-3.81) (sin Lat) + 0.01)/ (38.39 sin lat) + 7.47], Okolowicz's Model, (1969): K= (615 A Lat) + 20, Currey′s Model, (1974): K= A/ (1+ 113 Lat), Lauer & Frankenberg's Model : K = 260 A/ Lat.
Légendes: K= Continentalité, **Lat =** latitude, **A =** Amplitude thermique degré Celsius, **Ad =** Amplitude quotidienne thermique degré Celsius, **Ay =** Amplitude annuelle thermique degré Celsius, **D =**Déficit de saturation, **Sin =**Sinus, **P =** Précipitations mm., **Alt =**Altitude, **Tang =**Tangente.

On précise cependant que l'objectif de la recherche est, entre autres, de démontrer l'état réel de la continentalité estimé à partir des données journalières fiables et non pas sur des moyennes. Et comme la distinction doit se faire en tenant compte des jours des solstices et des équinoxes, une méthode de travail est élaborée pour retenir les critères de sélection de ces jours distincts dont la date et l'heure changent d'une année à l'autre pour les raisons suivantes énumérées par l'IMCCE [7]

"L'année connaît deux solstices : le premier proche du 21 juin, le deuxième proche du 21 décembre. Ces dates changent légèrement au cours des années, et évoluent sur les grandes périodes de temps en fonction des légers mouvements de l'axe de rotation terrestre. L'orbite terrestre n'est pas tout à fait circulaire et sa vitesse dépend donc de sa position. En conséquence, les saisons ont une durée inégale. Les solstices se produisent donc quasiment six heures plus tard d'une année sur l'autre. Les années bissextiles permettent de décaler les dates de solstices d'une journée tous les quatre ans."

Dans le calendrier grégorien, les dates d'équinoxes varient suivant les années (le tableau 1 les résume pour les années proches) ; les faits suivants sont à prendre en compte :
L'équinoxe de mars se produit les 19, 20 ou 21 mars.
L'équinoxe de septembre peut avoir lieu les 21, 22, 23 ou 24 septembre.
Dans ce même calendrier, le solstice d´été peut tomber les 19, 20, 21 ou 22 juin. En général, il tombe le 21 juin. Le solstice d´hiver peut tomber le 20, 21, 22 ou 23 décembre. Il tombe en général le 21 ou le 22 décembre. (Tableau 1)

A partir de ces données, les jours sélectionnés de solstice et d'équinoxe pour toutes les stations d'Arabie Saoudite sont les suivants:

- Solstice d'hiver: le 20 et 22 décembre, Solstice d'été: le 20 et 21 juin
- Équinoxe de printemps: le 19, 20, 21 mars, Équinoxe d'automne: le 21, 22, 23, 24 septembre.

Ensuite, les indices de continentalité pour ces jours retenus ont été calculés à partir des formules de CONRAD et de GOREZYNSKI.

RESULTATS – DISCUSSION

Variabilité comparative

Afin d'obtenir un traitement efficace dans l'interpolation spatiale des données par le biais du système Krigeage, méthode réputée d'interpolation spatiale dans les SIG, les paramètres suivants ont été adoptés pour l'ensemble des indices de CONRAD et de GOREZYNSKI:

Méthode Krigeage ordinaire, Modèle Semivariogram (Sphériques)
Output cellule size: 0.06155268, Radius: Variable, Nombre de points: 49

En tenant compte des traits généraux de la topographie du territoire et de la logique géographique dans l'analyse des résultats de krigeage, c'est-à-dire du degré d'adéquation entre image de répartition obtenue et géographie de surface, la configuration des côtes, la répartition des espaces irrigués, les agglomérations humaines, les espaces désertiques et les étendues de sables conduisent à retenir la formule de CONRAD puis celle de GOREZYNSKI précédemment abordées en méthodologie (cf., fig. 1 à 8).

Le choix de définir les jours du début des saisons astronomiques afin de comparer les images de répartition de la continentalité est uniquement dicté par l'objectif de démontrer cette composante de la structure climatique du pays. La Continentalité s'observe clairement même au cours des saisons et quel que soit le taux de l'humidité qui devient parfois élevé à l'occasion du passage d'une masse d'air humide.

[7] Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides.
http://www.imcce.fr/langues/fr/

Tableau 1: Date et heure (UTC) des solstices et des équinoxes au début du XXIe siècle, sources (IMCCE)/Wikipédia.

Année	Mars	heure	Juin	heure	Sept.	heure	Dec.	heure
2001	20	13:30:44	21	07:37:45	22	23:04:30	21	19:21:31
2002	20	19:16:10	21	13:24:26	23	04:55:25	22	01:14:23
2003	21	00:59:47	21	19:10:29	23	10:46:50	22	07:03:50
2004	20	06:48:39	21	00:56:54	22	16:29:51	21	12:41:38
2005	20	12:33:26	21	06:46:09	22	22:23:11	21	18:34:58
2006	20	18:25:35	21	12:25:52	23	04:03:23	22	00:22:07
2007	21	00:07:26	21	18:06:27	23	09:51:15	22	06:07:50
2008	20	05:48:19	20	23:59:23	22	15:44:30	21	12:03:47
2009	20	11:43:39	21	05:45:32	22	21:18:36	21	17:46:48
2010	20	17:32:13	21	11:28:25	23	03:09:02	21	23:38:28
2011	20	23:20:44	21	17:16:30	23	09:04:38	22	05:30:03
2012	20	05:14:25	20	23:08:49	22	14:48:59	21	11:11:37
2013	20	11:01:55	21	05:03:57	22	20:44:08	21	17:11:00
2014	20	16:57:05	21	10:51:14	23	02:29:05	21	23:03:01
2015	20	22:45:09	21	16:37:55	23	08:20:33	22	04:47:57
2016	20	04:30:11	20	22:34:11	22	14:21:07	21	10:44:10
2017	20	10:28:38	21	04:24:09	22	20:01:48	21	16:27:57
2018	20	16:15:27	21	10:07:18	23	01:54:05	21	22:22:44
2019	20	21:58:25	21	15:54:14	23	07:50:10	22	04:19:25
2020	20	03:49:36	20	21:43:40	22	13:30:38	21	10:02:19
2021	20	09:37:27	21	03:32:08	22	19:21:03	21	15:59:16
2022	20	15:33:23	21	09:13:49	23	01:03:40	21	21:48:10
2023	20	21:24:24	21	14:57:47	23	06:49:56	22	03:27:19
2024	20	03:06:21	20	20:50:56	22	12:43:36	21	09:20:30
2025	20	09:01:25	21	02:42:11	22	18:19:16	21	15:03:01

Bien évidement, d'autres objectifs auraient pu être pris en compte étant donné l'utilisation de mesures quotidiennes des éléments climatiques, comme par exemple: analyser la répartition spatiale de la continentalité des jours pluvieux ou sans précipitations, voir comment se dessine la variabilité pendant les jours de grandes chaleurs et les jours de fraîcheurs occasionnels ou au cours de l'hiver qui reste une saison relativement chaude. En fait, il s'agit d'un essai méthodique, une manière de traiter l'information des éléments du temps, afin de démontrer l'évolution spatiale d'une notion climatique propre à un territoire désertique, très mal connu géographiquement.

Les premiers résultats de cette analyse comparée de l'image de la continentalité sont représentés dans les figures de 1 à 8. On constatera aisément que les images obtenues par les indices de Conrad et de GOREZYNSKI présentent une très forte similarité de répartition. Comme les deux images se confirment mutuellement, les deux formules s'accordent donc bien pour définir les grandes espaces de continentalité géographiquement et climatiquement distincts du pays. Il s'agit de constater deux principes dans l'évolution spatiale de la continentalité:

- Quelle que soit la géographie des lieux, les valeurs des indices des jours de GOREZYNSKI sont légèrement inférieures par rapport aux indices des jours des solstices et des équinoxes de CONRAD , comme l'indiquent les légendes des figures où l'on remarque partout des catégories fixes qui sont adoptées avec un intervalle égal à la moitié de l'écart type.
- Les résultats des deux formules s'accordent dans la configuration générale des répartitions, ce qui dénote la validité et l'efficacité de ces formules, car la logique de l'image de répartition des indices de CONRAD des jours des solstices et des équinoxes est vérifiée par l'image de la répartition de la continentalité obtenue par la formule de GOREZYNSKI.

Style de répartition généré par les indices des jours de solstices d'hiver

Les images de répartitions sont démontrées par la figure1, obtenue par la formule de Conrad et la figure 2, obtenue par la formule de Gorezynski ; il s'agit d'une interpolation selon les paramètres de programmation de krigeage cité plus haut et adopté pour l'ensemble des indices.

Deux zones de très haute continentalité se confirment: le nord-est et surtout le sud (fig.1,2). Il est facile d'expliquer la formation de ces zones. Au nord et au nord-est du pays, il s'agit de l'espace aride, loin de l'influence méditerranéenne, reliant l'Arabie à l'Iran via le Koweït et l'Irak ; au sud, ce sont les étendues sableuses du plus grand désert d'Arabie : celui du « Quart vide » ou "Al-Rubu-Al-khali" qui connait uniquement un passage de masses d'air dénaturées, car entouré des espaces désertiques du sud de la presqu'île arabique du Yémen et du Sultanat d'Oman. Par ailleurs, on voit, pendant ces jours du début de l'hiver, l'importance jouée par la mer Rouge qui non seulement réduit la continentalité de la moitié nord du pays mais aussi humidifie l'espace côtier de la moitié sud des côtes de la mer Rouge appelé les « Plaines de Tihama ». Le rôle de la mer du Golfe reste bien limité à l'humidification des zones entourant le Koweït et ses influences restent absentes pour la partie sud de l'Arabie où se dessine un pôle de continentalité avec des valeurs dépassant 70% de la valeur absolue ou extrême de la continentalité. Les données climatiques moyennes sont illustrées dans la figure 9, où les mesures quotidiennes des stations du réseau météorologique ont été retenues pour établir les moyennes des jours du solstice d'hiver. Cette figure quantifie les différenciations spatiales des indices de CONRAD et de GOREZYNSKI et leurs caractéristiques climatiques moyennes. On remarque facilement les nuances entre les zones côtières de la façade de la Mer rouge et celle du Golfe ; celles-ci se distinguent à leur tour des régions du centre et du sud-est.

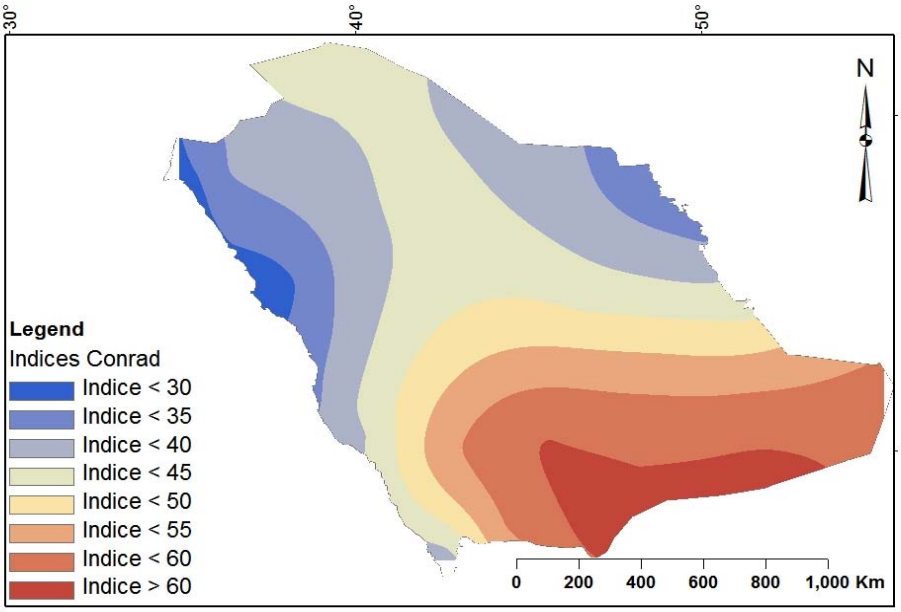


Fig. 1 : Variabilité spatiale des indices de Conrad pour les jours de solstice d'hiver: usage des données quotidiennes pour la période 1986-2012

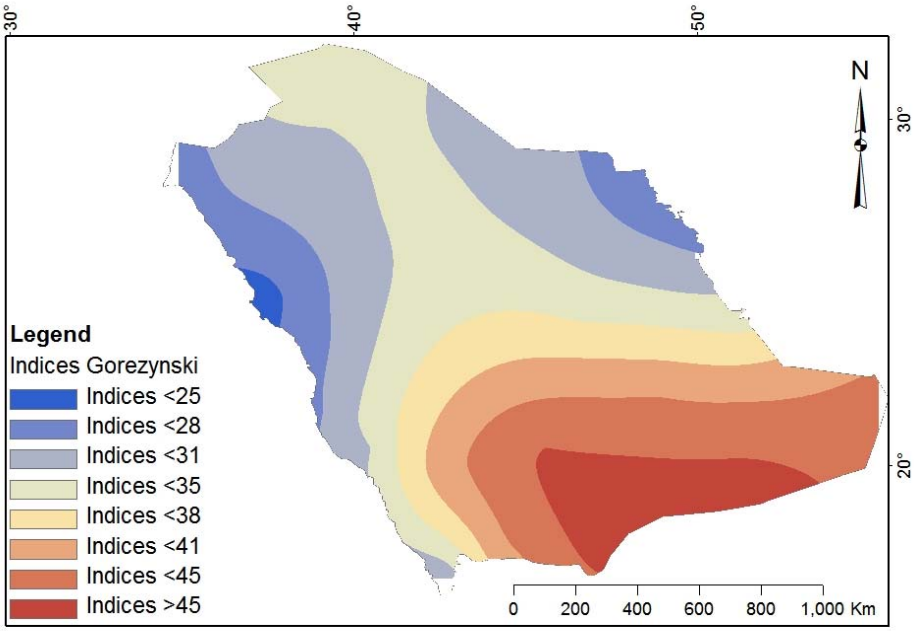


Fig. 2 : Variabilité spatiale des indices de Gorezynski pour les jours de solstice d'hiver: usage des données quotidiennes pour la période 1986-2012

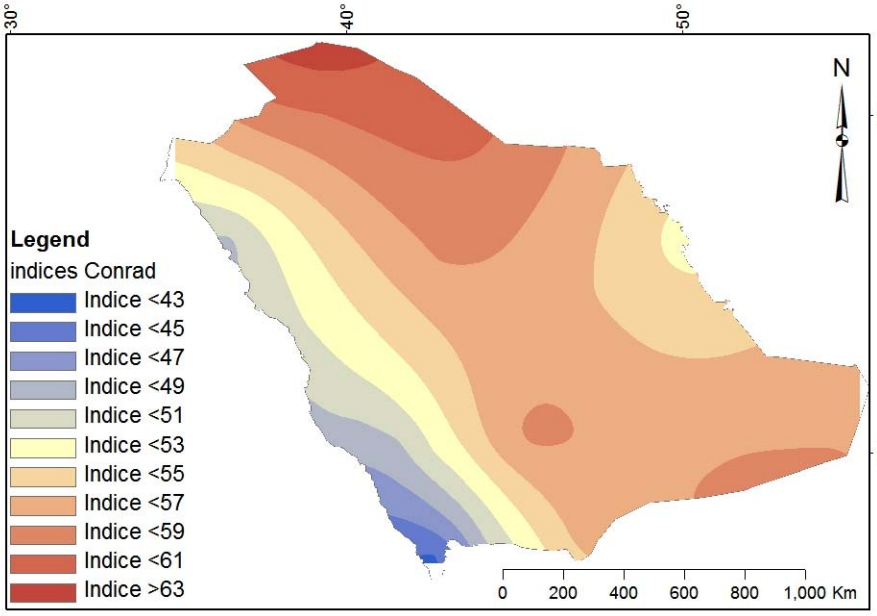


Fig. 3 : Variabilité spatiale des indices de Conrad pour les jours de solstice d'été: usage des données quotidiennes pour la période 1986-2012

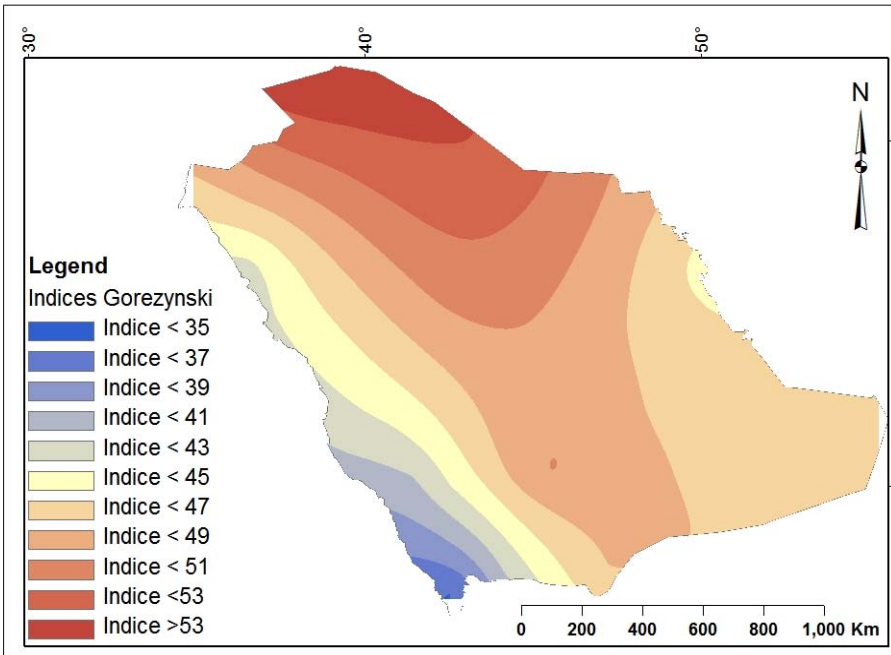


Fig. 4 : Variabilité spatiale des indices de Gorezynski pour les jours de solstice d'été: usage des données quotidiennes pour la période 1986-2012

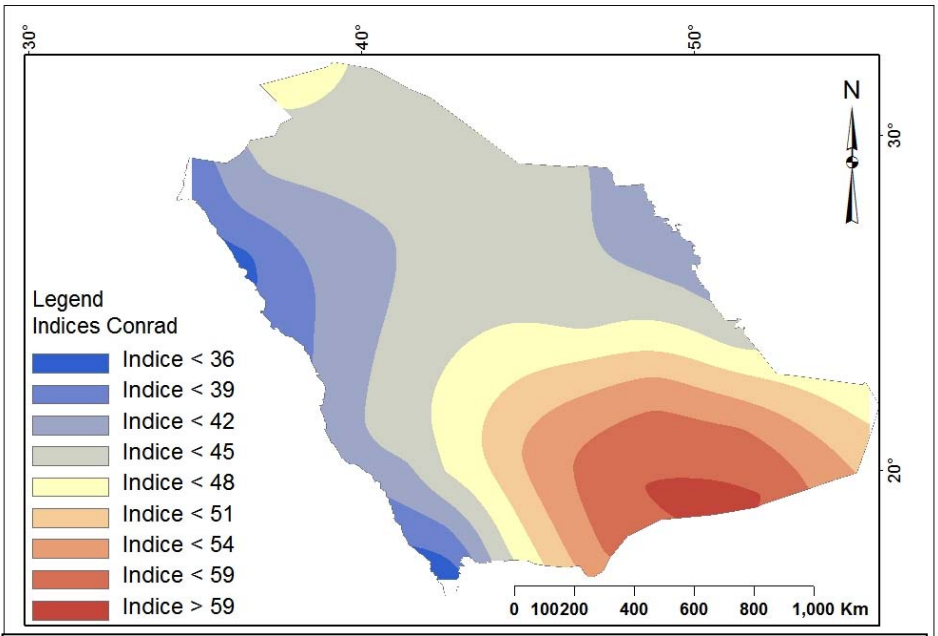


Fig. 5: Variabilité spatiale des indices de Conrad pour les jours d'Equinoxe de printemps: usage des données quotidiennes pour la période 1986-2012

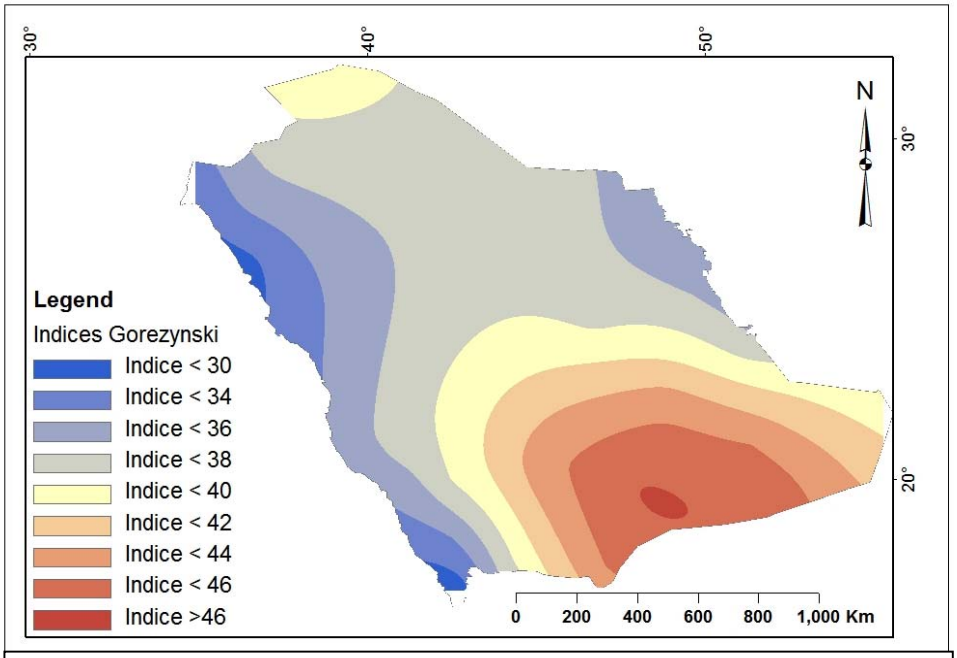


Fig. 6: Variabilité spatiale des indices de Gorezynski pour les jours d'Equinoxe de printemps: usage des données quotidiennes pour la période 1986-2012

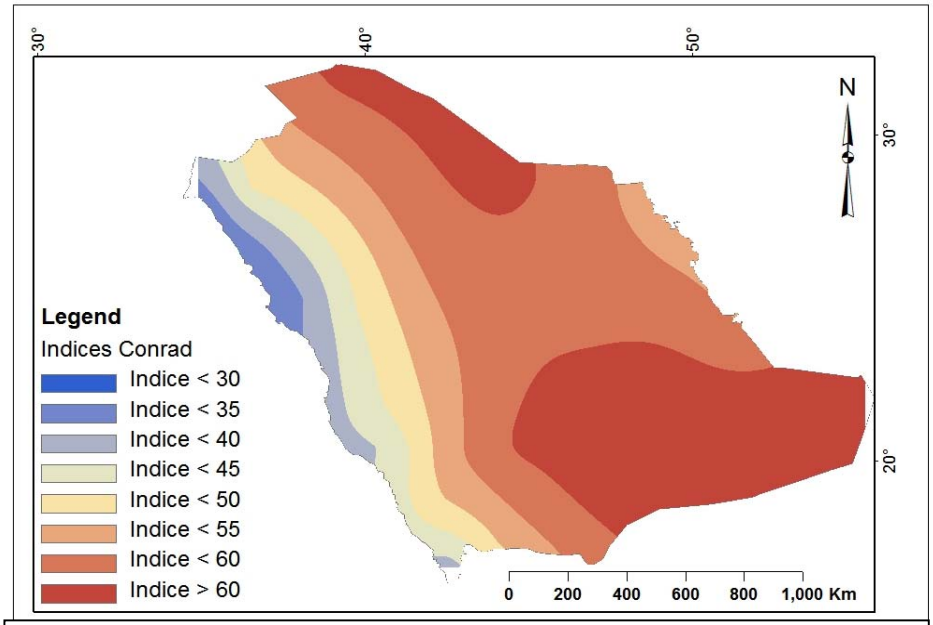


Fig. 7: Variabilité spatiale des indices de Conrad pour les jours d'Equinoxe d'automne: usage des données quotidiennes pour la période 1986-2012

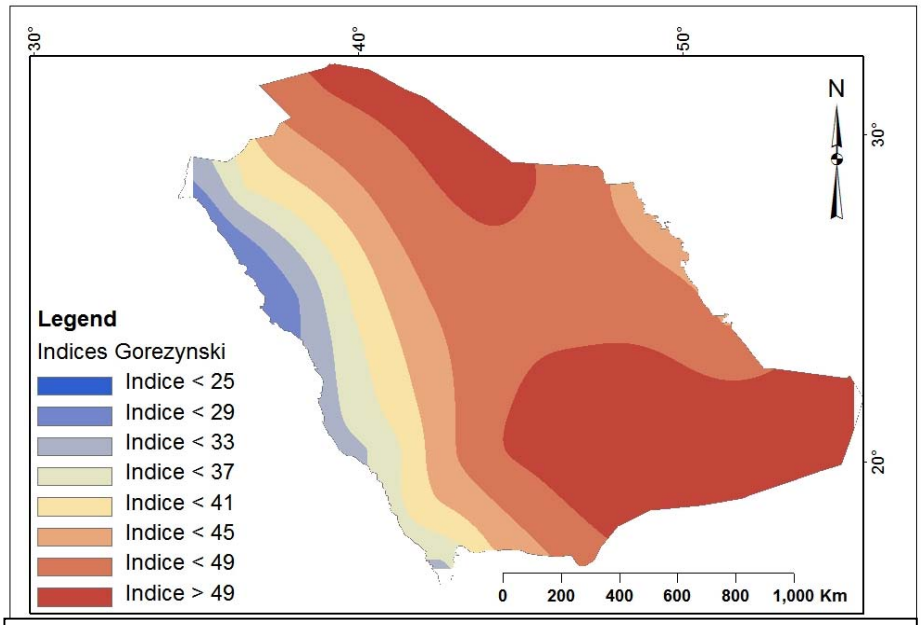


Fig. 8: Variabilité spatiale des indices de Gorezynski pour les jours d'Equinoxe d'automne: usage des données quotidiennes pour la période 1986-2012

La configuration de zonage reflète ces différences par une distribution quasi longitudinale de continentalité dans la partie septentrionale, démontrant une dégradation rapide des influences maritimes lorsqu'on s'éloigne vers l'intérieur continental, et une distribution quasi latitudinale des valeurs de la continentalité dans la partie sud du pays.(fig. 1,2).

Style de répartition généré par les indices des jours de solstice d'été

Sur les figures 3 et 4 on remarque la naissance d'une zone de fort indice de continentalité reliant le nord, le centre et le sud du pays, l'image générale de la répartition dans cette saison devenant plutôt longitudinale.

On observe l'emprise de la mer Rouge qui, par son pouvoir humidifiant tout au long de ses côtes, contribue à adoucir les normes le la continentalité pour le tiers ouest du pays. Le pôle le la continentalité change de lieu et occupe la partie nord-est. Les courants humides n'atteignent guère ces territoires éloignés qui se trouvent sous les influences directes de la cellule ouest de la dépression des Indes. En outre, le rôle de la mer du Golfe se trouve renforcé dans cette saison à cause de la circulation d'est qui s'installe pendant la saison d'été et qui touche en particulier la majeure partie des territoires du sud-est du pays.

En outre on remarque l'absence des influences qui peuvent être engendrées par le développement de grandes zones cultivées et irriguées du centre qui sont les périmètres de la région du Gassim au nord de Riyad, capitale de l'Arabie. Cette région est composée de grandes fermes exploitant les eaux souterraines des vastes plaines de Eneiza et de Breida. Cette irrigation devrait adoucir le climat régnant tout en régénérant les masses d'air chargées d'humidité venue du nord-ouest. L'absence d'influence des espaces irrigués se remarque par des indices élevés de la continentalité qui se matérialise autour de ces zones agricoles (cf. la zone marron clair : indices allant de 47 à 55 du centre et du nord sur les fig.3 et 4). Pareillement, dans le nord-ouest on constate aussi la présence de grands périmètres irrigués dans les régions de Tabuk et d'Al-Jof, facilitant la pénétration de masses d'air maritimes du milieu méditerranéen. Celles-ci multiplient leurs passages, principalement au printemps, lors d'années généreuses en courants maritimes, mais cela ne contribue guère à changer l'allure de la continentalité durant cette saison. Une stabilité atmosphérique s'installe, propre aux masses d'air desséché sous des températures journalières atteignant parfois 50°C, avec des amplitudes reflétant parfaitement un climat désertique [8].

Les traits généraux de la répartition de continentalité restent toujours commandés par la configuration des côtes, avec cependant un élargissement de bandes qui constituent les zones de faible continentalité décroissante d'ouest en est le long de la mer Rouge. En fait, s'agissant de l'image générée par les indices de CONRAD et de GOREZYNSKI, cette distinction entre est et ouest s'impose car elle est bien confirmée. Par ailleurs, l'extension vers le sud-est des espaces de faible continentalité causée par une pénétration profonde de masses d'air venues de la mer du Golfe (circulation d'est) est aussi aisée à constater. Ces masses d'air génèrent parfois des précipitations phénoménales sur les montagnes d'Oman. Afin de quantifier les zones de continentalité bien distinctes, les données de la fig.10 sont calculées pour les stations du réseau météorologique uniquement ; elles donnent plus de précision sur les différenciations spatiales des indices de CONRAD et de GOREZYNSKI des jours de solstice d'été. Lors de l'établissement de cette circulation tropicale d'est qui se manifeste pendant les jours de grandes chaleurs au milieu de l'été, le tropique devient l'isotherme des températures les plus élevées de l'hémisphère nord séparant bien les caractéristiques climatiques des deux moitiés nord et sud de l'Arabie.

[8] Les périmètres irrigués de centre et du nord d'Arabie sont remarquable par les imageries satellitaires, pour se faire il est intéressant de consulter Google Earth.

Fig. 9: indices de continentalité et caractéristiques climatiques pour les jours de solstice d'hiver: période 1986-2012.

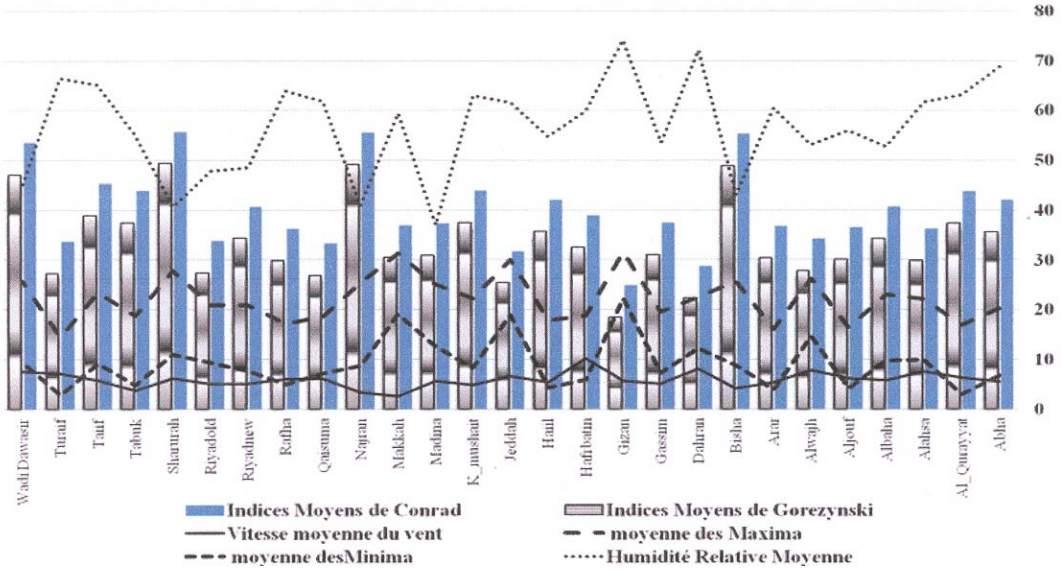


Fig. 10: indices de continentalité et caractéristiques climatiques pour les jours de solstice d'été: période 1986-2012.

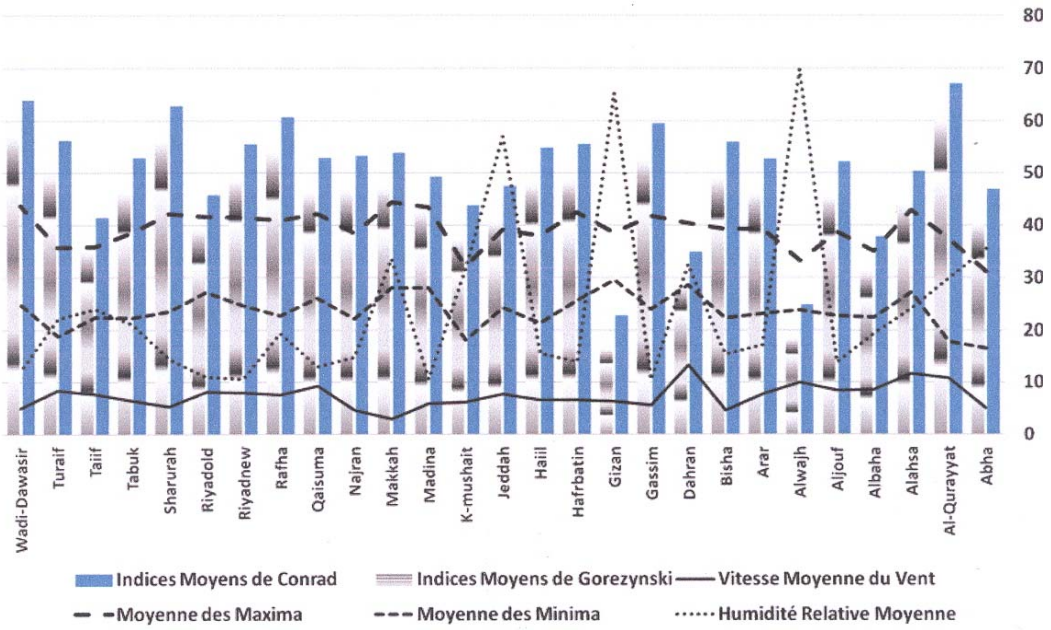


Fig.11: indices de continentalité et caractéristiques climatiques pour les jours de l'équinoxe de printemps: période 1986-2012.

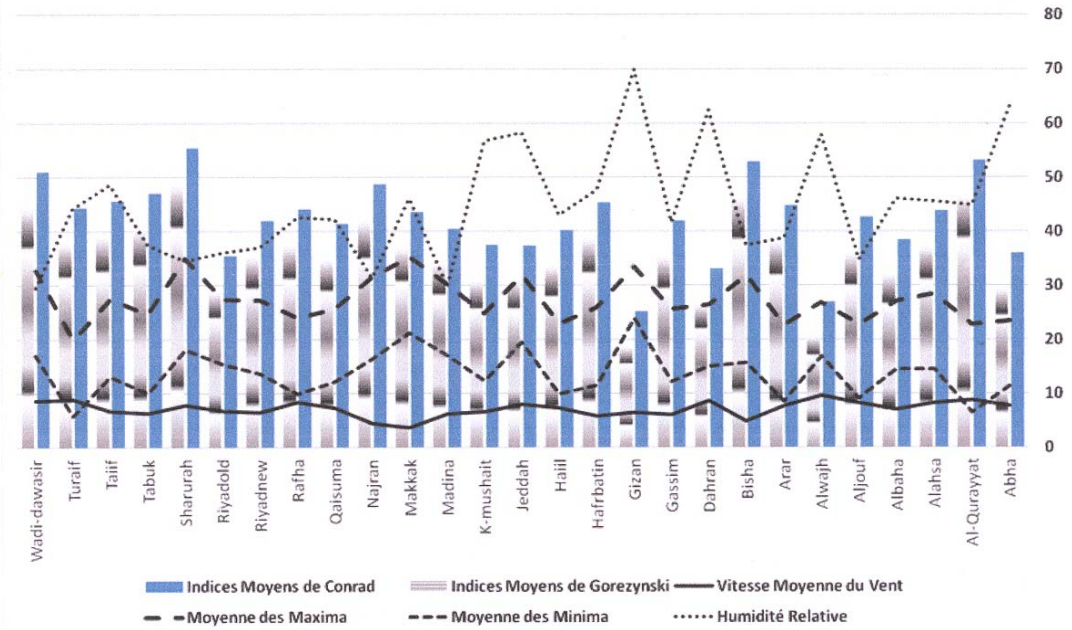
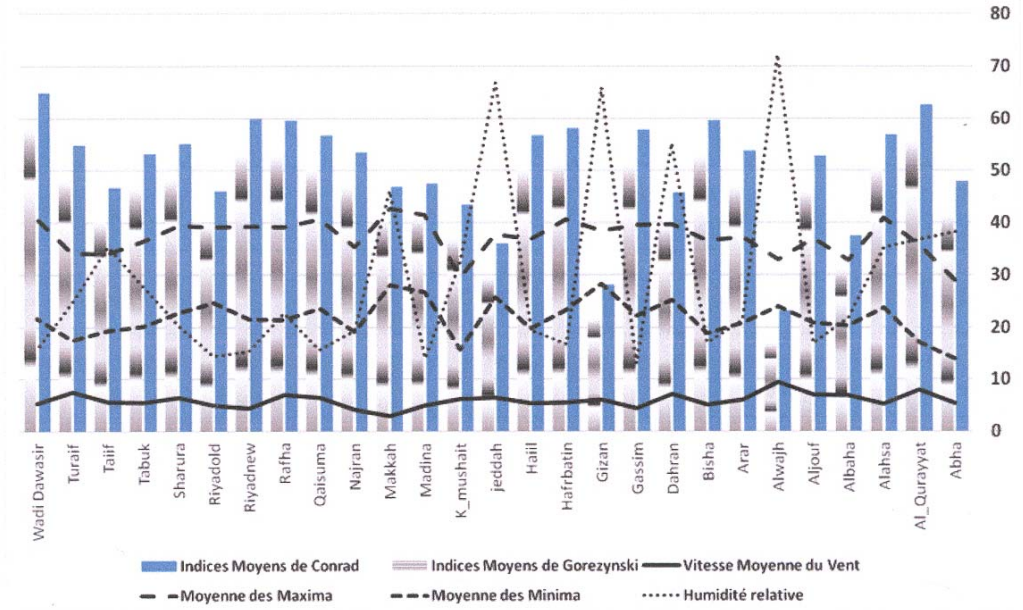


Fig. 12: indices de continentalité et caractéristiques climatiques pour les jours d'équinoxe de l'automne: période 1986-2012.



Ces types de temps de grandes chaleurs et d'extrême sécheresse représentent des situations isobariques limites, engendrant la reprise des influences continentales, où la sécheresse de l'air s'ajoutant aux températures très élevées, crée des ambiances suffocantes pour l'homme et pour l'environnement. Au sein de ces types atmosphériques rares mais capables de se reproduire, la continentalité s'intensifie dans les parties sud et nord du tropique saoudien et représente le fondement climatique de ce pays en toutes saisons.

Style de répartition généré par les indices des jours de l'équinoxe de printemps.

L'équinoxe du printemps signifie la fin astronomique de l'hiver à partir duquel les températures vont en augmentation progressive pour atteindre des valeurs estivales. Ce moment représente aussi le commencement de la période des pluies pour les pays limitrophes des côtes sud et sud-est de la Méditerranée. Il est évident que se sont les pluies qu'entraînent les perturbations de la dépression de Chypre qui humidifient le nord de l'Arabie. Il est à noter l'importance, durant les deux premiers mois du printemps, de la pénétration des advections froides prenant en écharpe la moitié Nord du pays. Ces advections peuvent générer des pluies importantes au cœur de l'Arabie atténuant ainsi l'emprise de la continentalité.

Il est aisé de comprendre dans ces conditions les différences énormes entre la moitié sud qui se caractérise par de très forts indices de continentalité et la moitié nord qui se voit bien impactée par les influences maritimes. On pourra donc considérer la trace au sol du tropique du Cancer passant un peu au sud de Riyad comme ligne séparant ces deux moitiés distinctes.

Les influences des courants humides de nord-ouest se matérialisent par un dégradé du bleu tout au long des côtes la mer Rouge (fig. 5, 6) ; il s'agit de courants chargés d'humidité, ce qui marque l'allure des lignes d'iso-continentalité qui deviennent concaves vers l'intérieur des terres. Par contre, la prédominance du milieu continental aride et désertique du « Quart-vide » "Al-Rub-Al-Khali" dans le sud et le sud-est résulte de la décroissance rapide des influences maritimes venues de la méditerranée et de la mer Rouge. Cette situation engendre ce grand espace de déserts absolus du pays où les indices peuvent dépasser la valeur limite de 70, avec des températures pouvant aussi dépasser 30°C (fig.11), alors qu'il s'agit seulement du début de printemps. Les influences méditerranéennes étant toujours plus importantes et limitant la portée des influences du Golfe, on peut dire que l'action de l'humidificateur méditerranéen englobe la majorité du territoire saoudien le printemps venu.

Style de répartition généré par les indices des jours de l'équinoxe d'automne.

Le cumul thermique durant l'été, l'absence totale des précipitations (sauf dans les montagnes de Sarawate de l'extrême sud-ouest qui reçoivent parfois des pluies engendrées par un mécanisme de mousson bien connu), l'intensité du rayonnement solaire sous un ciel dépourvu de nuages, la rareté de la couverture végétale, font que l'Arabie se retrouve à l'équinoxe d'automne avec des indices de continentalité bien élevés. L'extrême réchauffement estival, la baisse de l'humidité relative, le pouvoir asséchant des vents secs de l'intérieur changent les données habituelles de la répartition et, à la différence de l'équinoxe de printemps, quand la répartition de la continentalité permet de distinguer deux moitiés nord et sud, l'image de la répartition de la continentalité au début de l'automne dénote deux moitiés distinctes ouest et est.

Dans ces deux parties, on remarque l'appartenance de l'Arabie au régime de circulation polaire d'ouest de l'hémisphère nord. Au début de l'automne ceci se reflète par un dégradé longitudinal des lignes d' iso-continentalité où l'on constate une augmentation des valeurs des indices en allant vers l'est. La partie la plus étendue en superficie est composée de deux noyaux de continentalité bien adaptés à la géographie pays: celui du sud-est et l'autre du nord-est dont on avait précédemment expliqué l'existence.

Deux valeurs de continentalité prédominent dans la partie est : l'indice allant de 45 à 49 et l'indice supérieur à 50 (zone marron foncé : fig. 7, 8) qui peuvent atteindre plus de 60 comme à Al-Qurayyat ou à Wadi Dawasir (fig. 12). La simplicité de la répartition indique l'emprise de la continentalité qui reste prédominante jusqu'à la fin de l'automne, avec cependant une atténuation

dans la cellule sud-est du pays, qui s'effectue progressivement vers la fin de la saison (comparer : fig. 7, 8 et fig. 1, 2).

CONCLUSIONS

Il s'avère que le krigeage est un procédé efficace susceptible d'être appliqué pour de grandes étendues possédant un réseau de mesures de faible densité de stations comme l'Arabie.

Deux formules d'évaluation de continentalité ont été retenues pour être appliquées sur les étendues d'aridité majeures du pays : celle de CONRAD et celle de GOREZYNSKI. On note que les données de mesures appliquées à la définition de la continentalité confirment le rôle joué par les espaces continentaux qui freinent l'action des espaces maritimes. L'Arabie connaît vers la fin de l'hiver et jusque parfois la fin du printemps, essentiellement pendant les saisons de transition, des advections froides bien établies dirigées par la dépression de la méditerranée orientale, ce qui génère les infiltrations d'air froid d'Europe de l'est. Ces situations isobariques peuvent engendrer des types de temps instables et chargés d'humidité sur la partie septentrionale du pays. L'action de l'homme peut créer des nuances: l'exemple des espaces cultivés dans la région du centre et dans le nord-ouest peut être retenu comme un élément propre à modifier un milieu d'aridité primaire. Le reboisement et le développement de grands projets d'élevage et d'agriculture sont des moyens qui pourraient se révéler efficaces pour lutter contre l'aridité due à la continentalité. Toutefois, les résultats sont encore peu observables en dépit des efforts déjà déployés dans ce domaine.

REFERENCES

ALJARRASH, M.A., 1984. Climate Subdivisions in Saudi Arabia: an application of factor cluster analysis, *Geo. Journal*, 41 : I69-84, Kuwait (texte en Arabe).

BADRUDDIN, A.,Y.,M., 1990, Problèmes de classification climatiques en Arabie Saoudite, *Rev. Univ. Umm AL-Qura, Makkah*, 7: 12-65 (texte en Arabe).

BADRUDDIN, A.,Y.,M., 1997, Climatic classification of Saudi Arabia: An application of factor – cluster analysis, *Geo.Journal*, 41,1: 69-84 (texte en Arabe).

BADRUDDIN, A.,Y.,M., 2008, Climate Aspects of Western Saudi Arabia, *Bulletin of The Egyptian Geographical Society*, 125 – 158 , Cairo (texte en Arabe).

BADRUDDIN, A.,Y.,M., 2010, Caractéristiques des précipitations dans la région du sud-ouest de l'Arabie Saoudite, cas de Najrane, *Rev. Univ. Umm AL-Qura, Makkah*, 11: 6-42 (en Arabe).

KERBE, J. 1987, Les Caractéristiques Dynamiques du Climats de l'Arabie, *Revue de Géogr. de l'Est*, N° 3-4, pp 15 – 49.

KERBE J., 1988, Géographie des Types Climatiques Mensuels en Arabie Saoudites, Méditerranéen, N°., 1, 1988, pp. 25-34.

KERBE, J., 1989, L'Image climatique des Mois et saisons de L'Arabie Saoudites, La Météorologie, N°. 26, Paris, Février 1989, pp. 1-14.

KERBE, J., 2004, Raimfall generated by prevalent wind circulation over mountains lands in Abha area Kingdom of Saudi Arabia, Rev. recherches Géographiques, Saudi Geographical Society, N°63, King Saud Univ., pp 1-50, Riyad, texte en arabe.

KERBE, J., 2007, Real daily thermal deviation of Makkah from the mean daily of surface air temperatures of Saudi Arabia, Centre3 d'Etudes des pays de Golf et de l'Arabie, Kuwait Univ., N°24, pp. 11-73, texte en arabe.

KERBE, J., 2010, Monthly climatic models in some typical climate stations in K.S.A. by correspondence analysis, The Egyptian Journal of Environmental Change, 2eme année, N° 2, pp 67-100.

KERBE, J., Badruddin, A.,Y.,M., 2013, Les types de temps géographiques de Makkah, Etudes méthodologique, The Egyptian Journal of Environmental Change, vol. 5, N° 2, pp 7-32.