

Analyses des liens entre les variabilités climatiques ENSO-IOD et la sécheresse saisonnière

Précédemment, nous avons démontré par l'intermédiaire de l'ANOVA à 1 facteur que la variabilité des précipitations ne dépend pas du facteur temporel. Obligatoirement, elle dépend principalement des facteurs spatiaux. Il existe plusieurs types de facteurs spatiaux, mais ce qui nous intéresse est la variabilité du climat qui est en effet redondant sur les régions tropicales. Plus particulièrement, l'influence combinée et individuelle des variabilités climatiques ENSO et IOD. Dans un premier temps, nous allons tout d'abord donner un récapitulatif des épisodes ENSO et IOD de l'année 2016-2017, puis nous identifierons les périodes ENSO et IOD. Ensuite nous effectuerons deux ACP normées sur les indices SPI, ENSO et IOD respectivement à l'échelle mensuelle et saisonnière. Au final, une classification ascendante hiérarchique basée sur la méthode de Ward sera établie pour mettre en évidence les périodes qui présentent les mêmes caractéristiques vis-à-vis des variabilités climatiques.

Section 1 Récapitulatif des épisodes ENSO et IOD de l'année 2016-2017

Dans cette section, nous allons principalement caractériser les phases ENSO et IOD se déroulant durant l'année 2016-2017. Pour se faire, nous allons faire une analyse graphique et une analyse des cartes composites des anomalies SST, direction et vitesse du vent combinées.

Analyse graphique des indices ENSO et IOD de la période d'étude

Ici, nous allons visualiser et interpréter l'évolution des phénomènes ENSO et IOD durant la période d'étude. Pour se faire, on a tracé les valeurs respectives des SST DMI et ONI qui contribuent à l'identification des phases des deux variabilités.

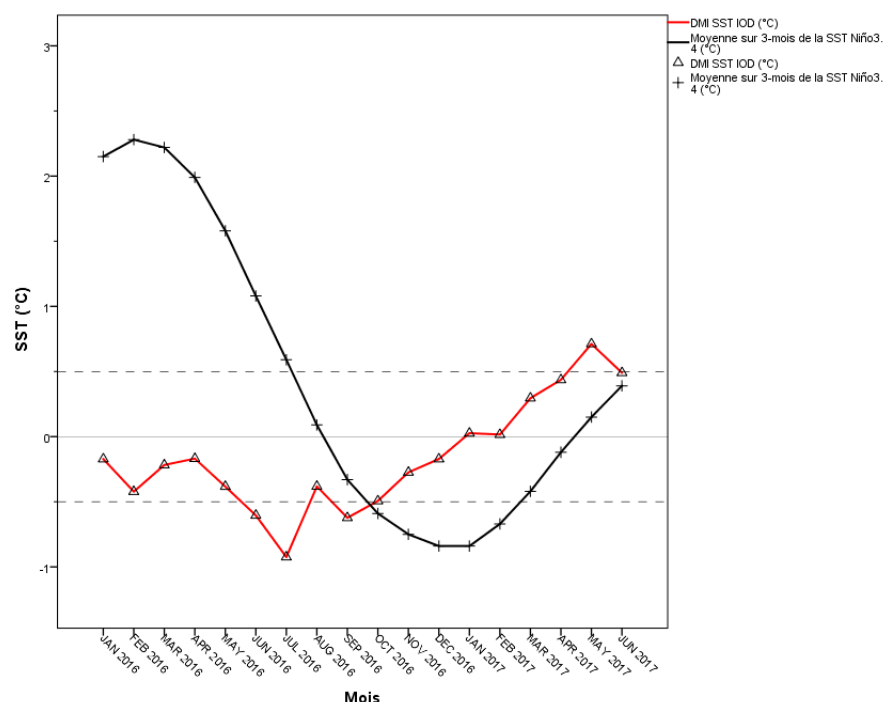


Figure 67 : Courbe d'identification des phases ENSO et IOD sur la période d'étude

Source : Auteur

La Figure 67 représente l'évolution des phases ENSO et IOD durant la période d'étude. En début de période, Janvier 2016, ENSO est en phase El Niño fort associé à un IOD neutre froid. De Février à Août 2016, les deux variabilités chutent vers les valeurs négatifs, ENSO passe violement en phase neutre chaud et l'IOD entre dans une phase négative particulièrement forte avec un pic en Juillet. En Septembre, nous entrons dans une phase La Niña Faible qui dure en Octobre 2016 jusqu'en Février 2017 ; l'IOD négatif persiste encore avec un pic, mais cette fois moins intense que la première. A partir de Février 2017, les deux phénomènes remontent vers les valeurs positives, c'est la fin des épisodes froids. En Mai 2017, nous entrons dans une phase ENSO neutre chaud et un IOD positif. Par analogie, notre anomalie commence le mois d'Août juste après le pic fort de l'IOD négatif et au basculement violent de la phase El Niño fort vers neutre froid.

Analyse des cartes composites globales SST, direction et vitesse du vent combinées

Pour plus de clarté, nous allons illustrer cette courbe par des cartes composites d'anomalies combinées de la SST, Vitesse et direction du vent mensuelles en surface au niveau de pression 1000mb.

Sur la Figure 68-page 151 à 155, nous avons représenté les cartes composites d'anomalies mensuelles des SST, direction et vitesse du vent combinées à 1000mb sur toute la période d'étude allant du mois de Janvier 2016 à Juin 2017. Les vecteurs montrent la direction de l'anomalie du vent résultant, et la longueur du vecteur indique la grandeur de l'anomalie du vent résultante. Une échelle de vecteur dans le coin inférieur droit de la carte indique la longueur du vecteur pour une vitesse donnée, en unités de m / s. Les anomalies enregistrées de la vitesse du vent sont calculées en soustrayant l'ampleur de la vitesse météorologique climatologique mensuelle résultante (période de base 1971-2000) de l'ampleur de la vitesse du vent observée mensuelle résultante et sont indiquées par des contours avec un intervalle de +/- 1 m / s. L'ombrage de couleur indique l'anomalie mensuelle de la température de la surface de la mer en unités de ° C, avec des températures supérieures à la moyenne de 1971-2000 dans les nuances de jaune et de rouge et les températures inférieures à la normale dans les nuances de bleu [39].

A la Figure 68-a), b), c) et d), de Janvier à Avril 2016, on assiste à la phase de désintégration de l'El Niño de la saison 2015-2016 associé à un IOD positif. En même temps, les anomalies froides du Pacifique Ouest se déplace sous l'effet du renforcement des vents d'Est associés aux ondes de Kelvin formant peu à peu un Downwelling au Sud de l'océan Indien en prolongeant les mers au Sud de l'Australie. D'un autre côté, les anomalies chaudes de l'Océan Indien Ouest de l'IOD positif se déplace sous l'effet des vents d'Ouest associés aux ondes de Rossby formant petit à petit un Upwelling qui tend à se propager vers l'Est sur les côtes Ouest de l'Indonésie et de l'Australie. On constate aussi que le renforcement des Alizés sur le pacifique Est réduit peu à peu la piscine d'eau chaude du précédent El Niño pour être remplacé par un downwelling, La Niña se prépare.

La figure 68-e), Mai 2016, le Downwelling au Sud de l'Océan Indien remonte vers l'Ouest, on assiste à la formation d'un IOD négatif. Les Alizés du pacifique Est s'intensifient formant un

downwelling, les anomalies chaudes du précédent IOD positif prennent place peu à peu sur l'Océan Indien Est. On remarque aussi les formations d'anticyclone sur tous les bords de Madagascar, particulièrement au Sud-Est et au Nord-Ouest en plaçant l'île entre les dorsales.

A la Figure 68-f), Juin 2016, on assiste à la formation d'un IOD négatif sur l'Océan Indien et d'un La Niña sur l'Océan Pacifique. En effet, Madagascar se situe complètement à l'intérieur de la dorsale anticyclonique au Sud-Est. Les Alizés s'intensifient en même temps sur l'Océan Indien.

La Figure 68-g), Juillet 2016, IOD négatif confirmé sur l'Océan Indien avec une intensité particulièrement forte (le premier pic négatif durant la dernière décennie), un downwelling à l'Ouest et un upwelling à l'Est sur l'Océan Indien, la piscine d'eau froide se concentre au Sud-Est de l'Arabie et l'Est de la Corne de l'Afrique. Sur l'Océan pacifique, les Alizés continuent à s'intensifier, un downwelling faible se forme à l'Est, on est encore en phase El Niño faible d'ENSO.

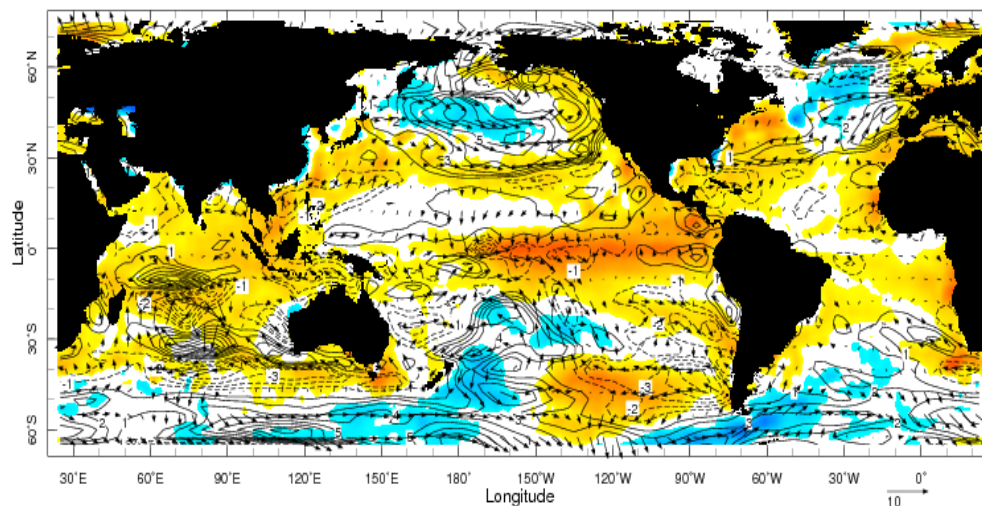
La Figure 68-h), Août 2016, L'IOD négatif perd en intensité. El Niño se désintègre complètement en entrant en phase neutre chaude. On constate aussi que les anomalies chaudes du pacifique Ouest commencent à se déplacer au Sud d l'Australie vers l'océan Indien, de même pour les anomalies chaudes des côtes de l'Indonésie et de l'Australie se positionnent.

A partir du mois de Septembre 2016, figure 68-i), l'IOD négatif se renforce avec un pic mais moins intense que le précédent s'étalant particulièrement sur toute l'Océan Indien Ouest en soumettant Madagascar sous une dorsale anticyclonique immense caractérisée par une atmosphère très sèche, les vents d'Est augmentent en intensité.

Sur la Figure 68-j) à 68-m), c'est-à-dire, du mois d'Octobre 2016 à Janvier 2017, l'IOD négatif persiste en bloquant les anomalies chaudes provenant du pacifique Ouest qui restent au Sud de l'Océan Indien. La Niña faible s'active, les deux variabilités sont en phase. Or, pendant cette période, la mousson d'été australe ou mousson du Nord-Ouest commence à descendre avec la ZCIT en Novembre. La masse d'air froide générée par l'IOD négatif constitue Un mur (blocage) pour la mousson et la ZCIT, observez en Janvier que la ZCIT est immobilisée à l'équateur le barrage d'air froid est très épaisse. Par ailleurs, les anomalies chaudes du Sud de l'Océan Indien remonte petit à petit en longeant la côte Est de l'Afrique laissant derrière elles une anomalie froide. Les Alizés commencent à s'affaiblir

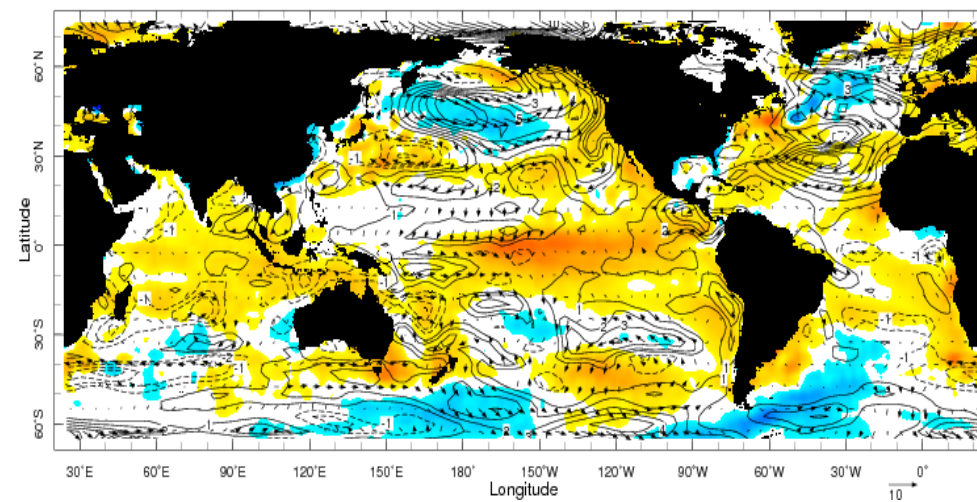
a) Janvier 2016

Time Jan 2016 Pressure 1000.0 mb



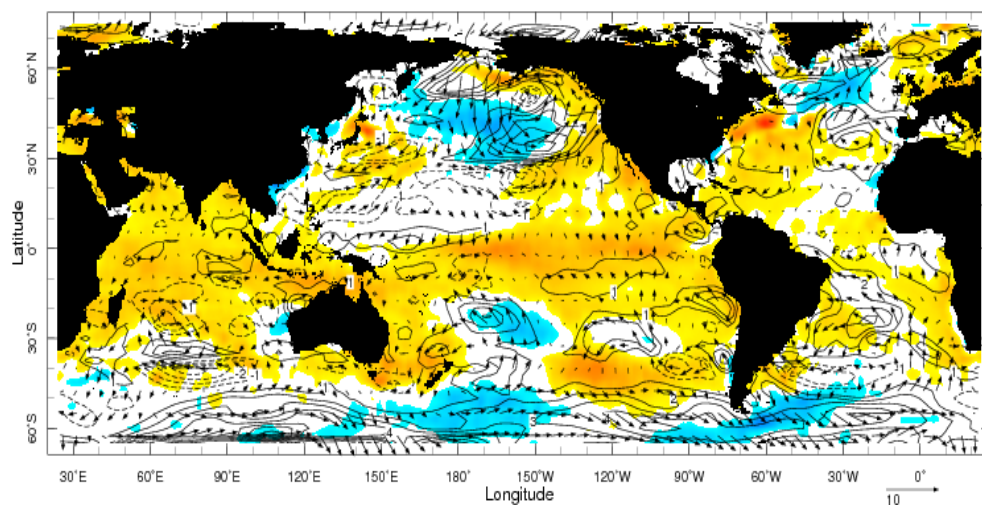
b) Février 2016

Time Feb 2016 Pressure 1000.0 mb



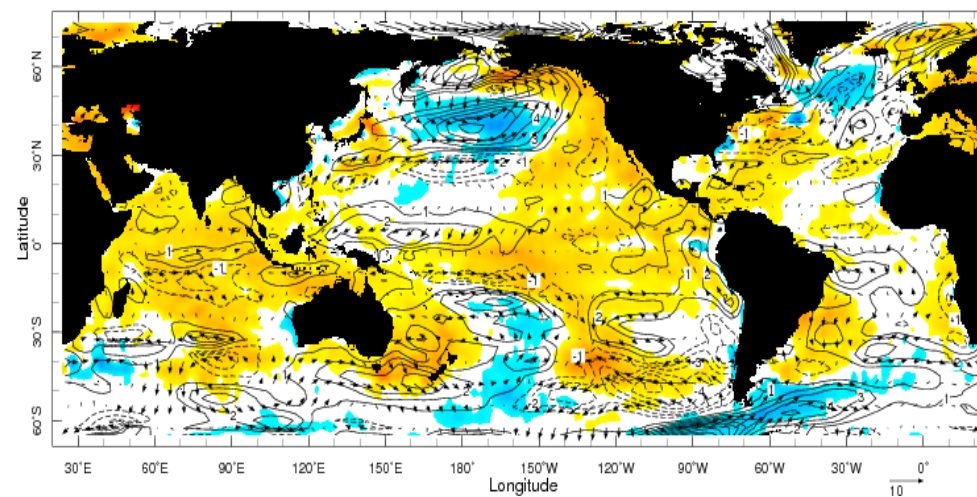
c) Mars 2016

Time Mar 2016 Pressure 1000.0 mb



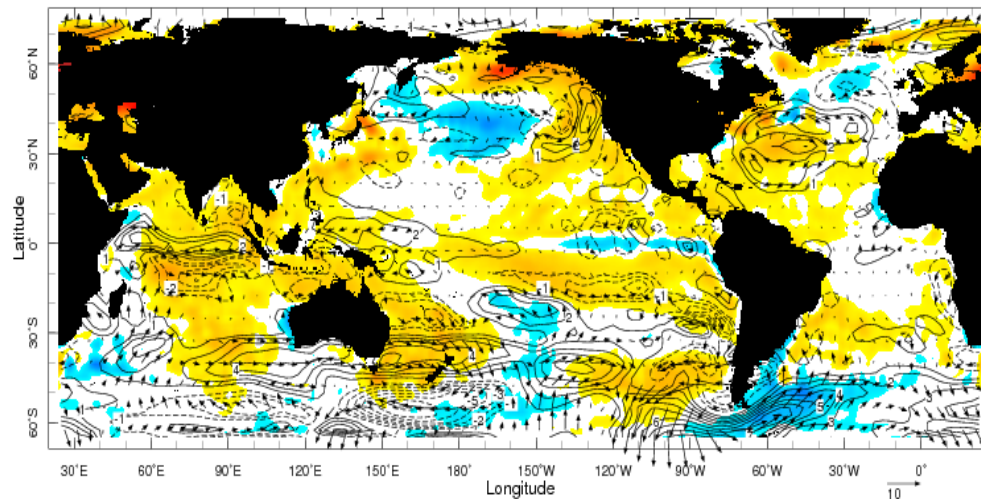
d) Avril 2016

Time Apr 2016 Pressure 1000.0 mb



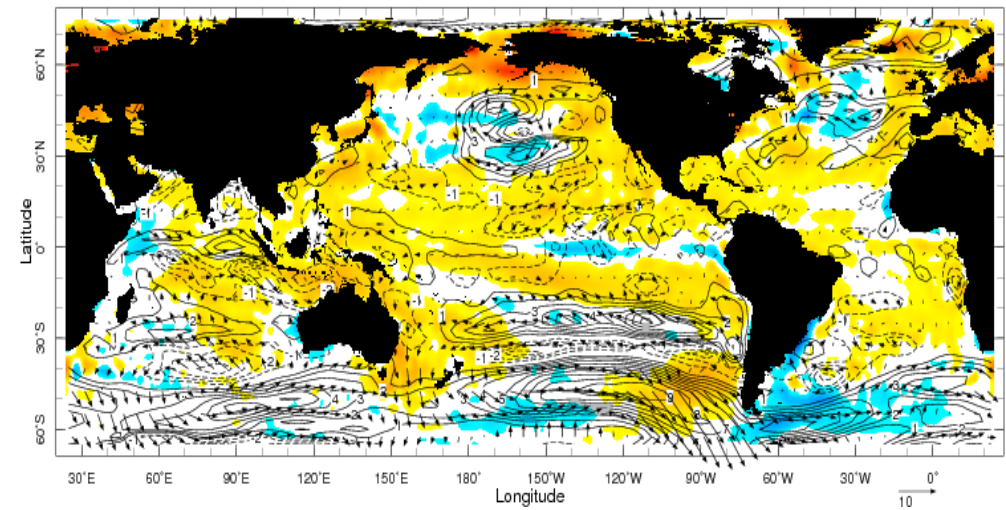
e) Mai 2016

Time May 2016 Pressure 1000.0 mb



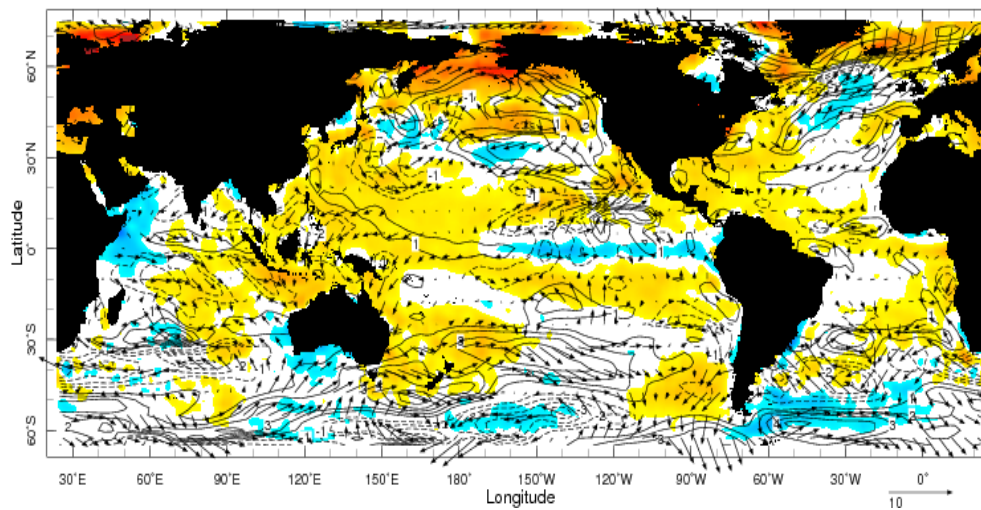
f) Juin 2016

Time Jun 2016 Pressure 1000.0 mb



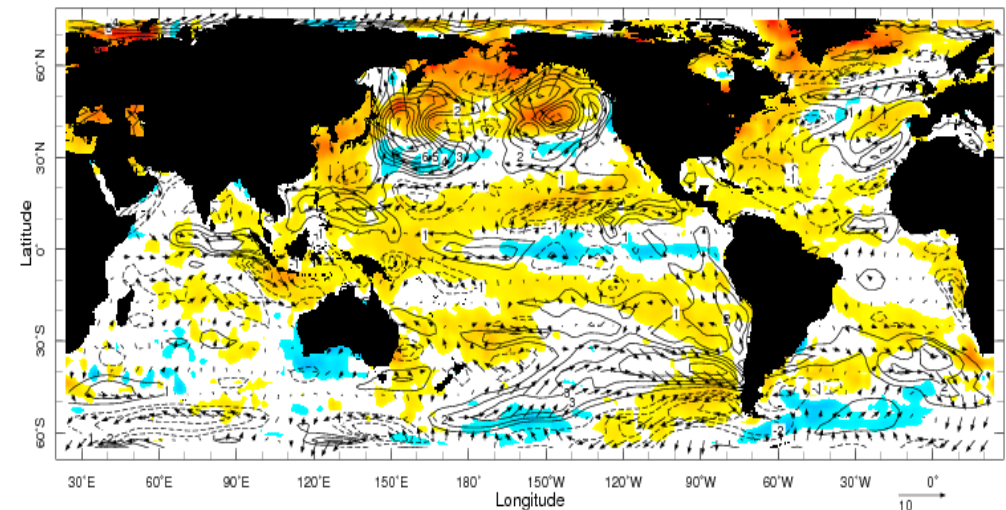
g) Juillet 2016

Time Jul 2016 Pressure 1000.0 mb

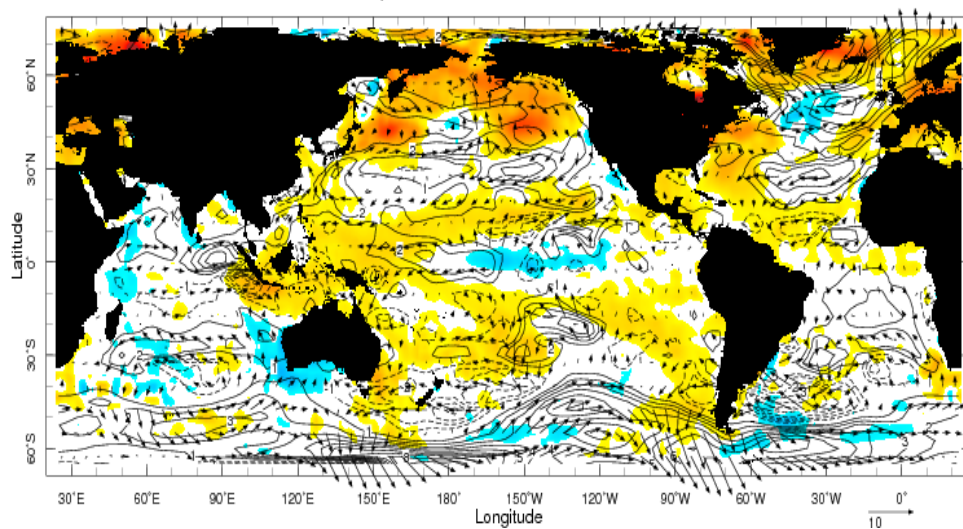


h) Août 2016

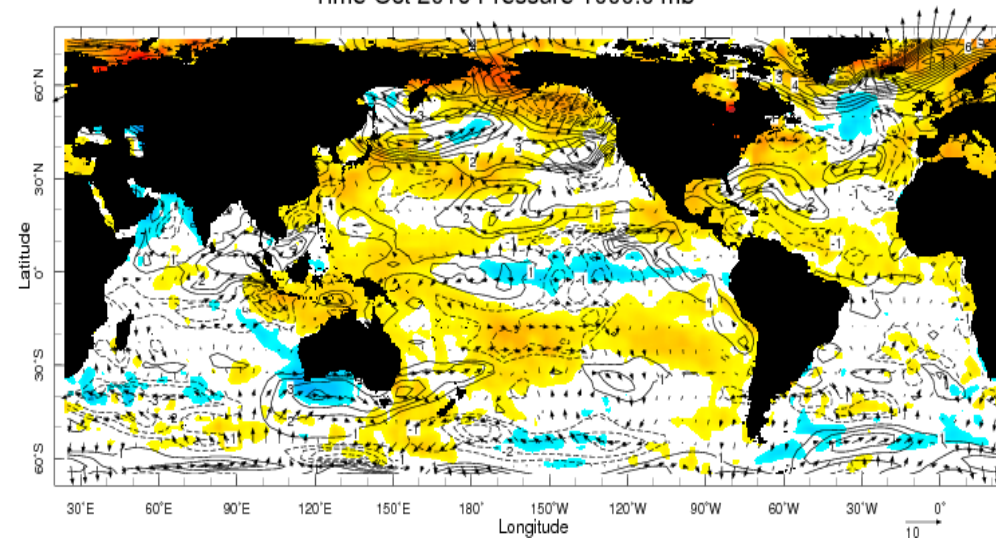
Time Aug 2016 Pressure 1000.0 mb



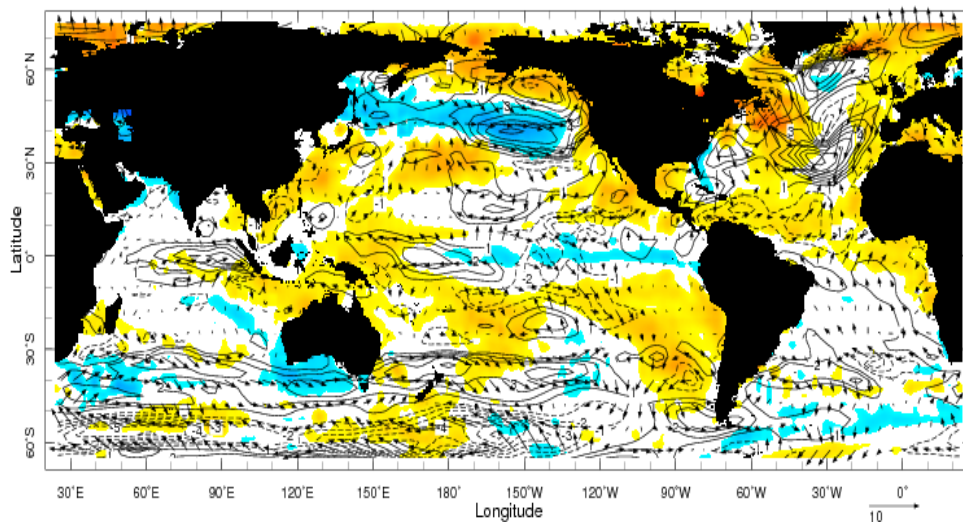
i) Septembre 2016
Time Sep 2016 Pressure 1000.0 mb



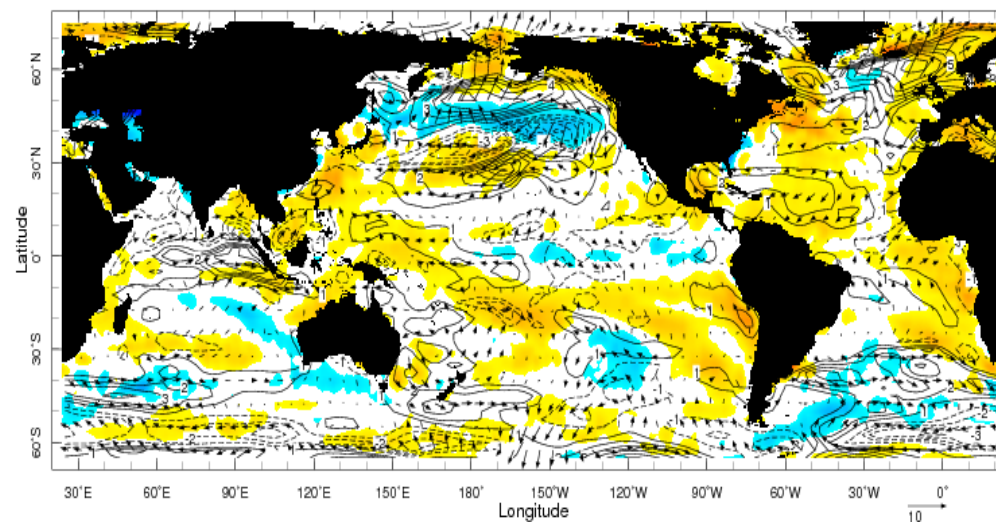
j) Octobre 2016
Time Oct 2016 Pressure 1000.0 mb



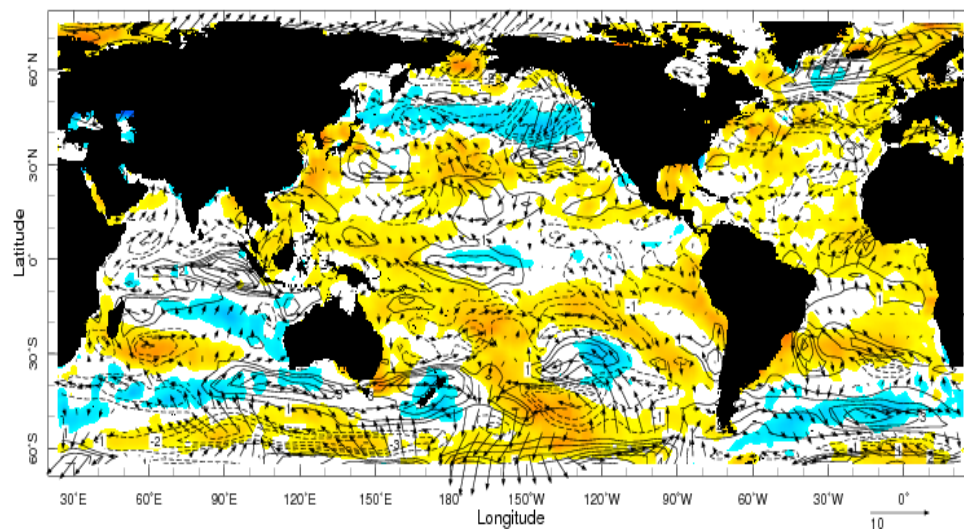
k) Novembre 2016
Time Nov 2016 Pressure 1000.0 mb



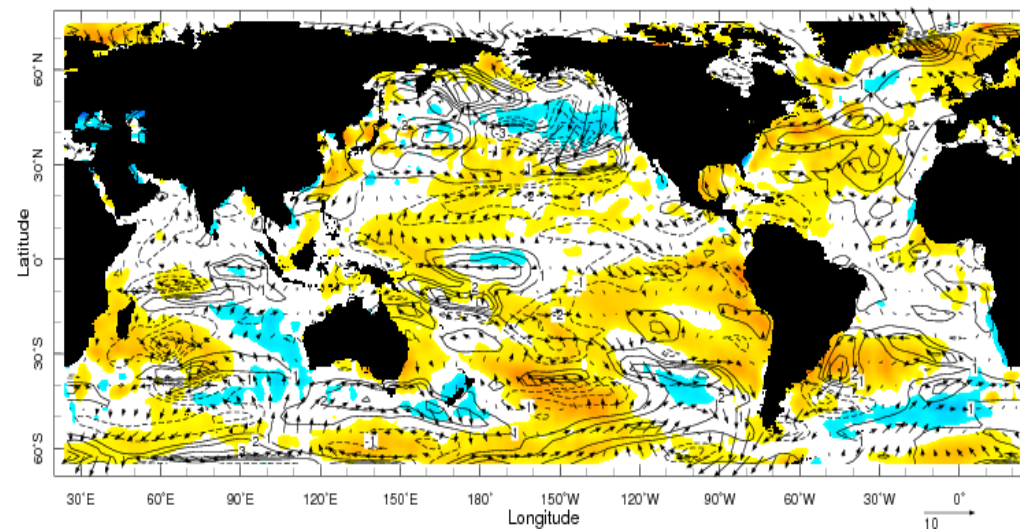
l) Décembre 2016
Time Dec 2016 Pressure 1000.0 mb



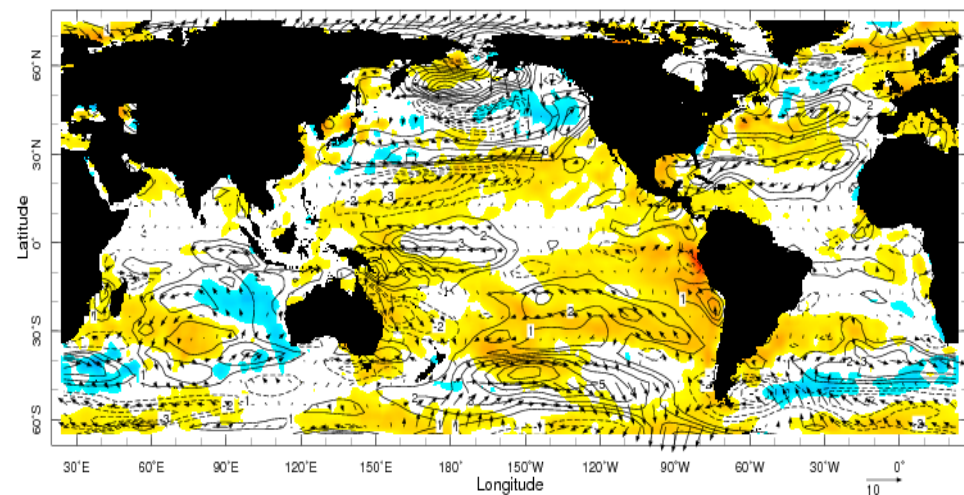
m) Janvier 2017
Time Jan 2017 Pressure 1000.0 mb



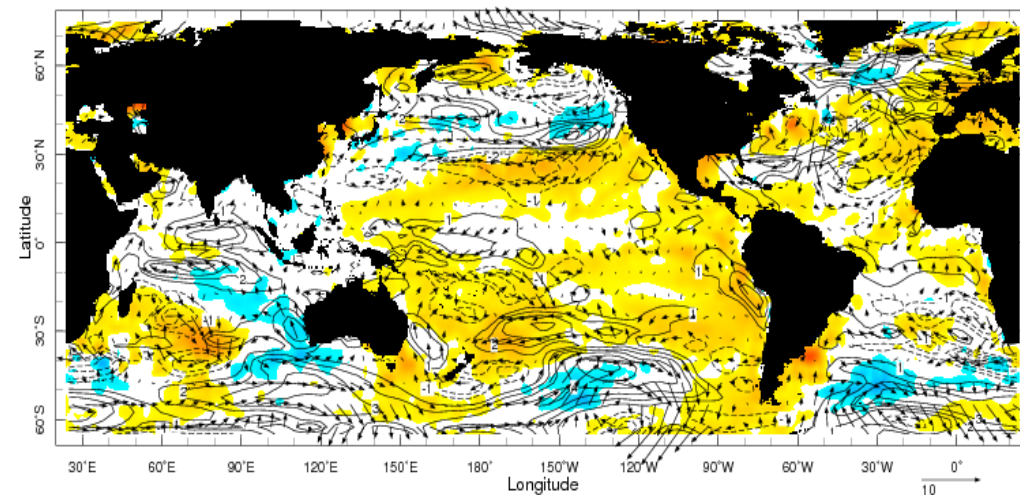
n) Février 2017
Time Feb 2017 Pressure 1000.0 mb



o) Mars 2017
Time Mar 2017 Pressure 1000.0 mb



p) Avril 2017
Time Apr 2017 Pressure 1000.0 mb



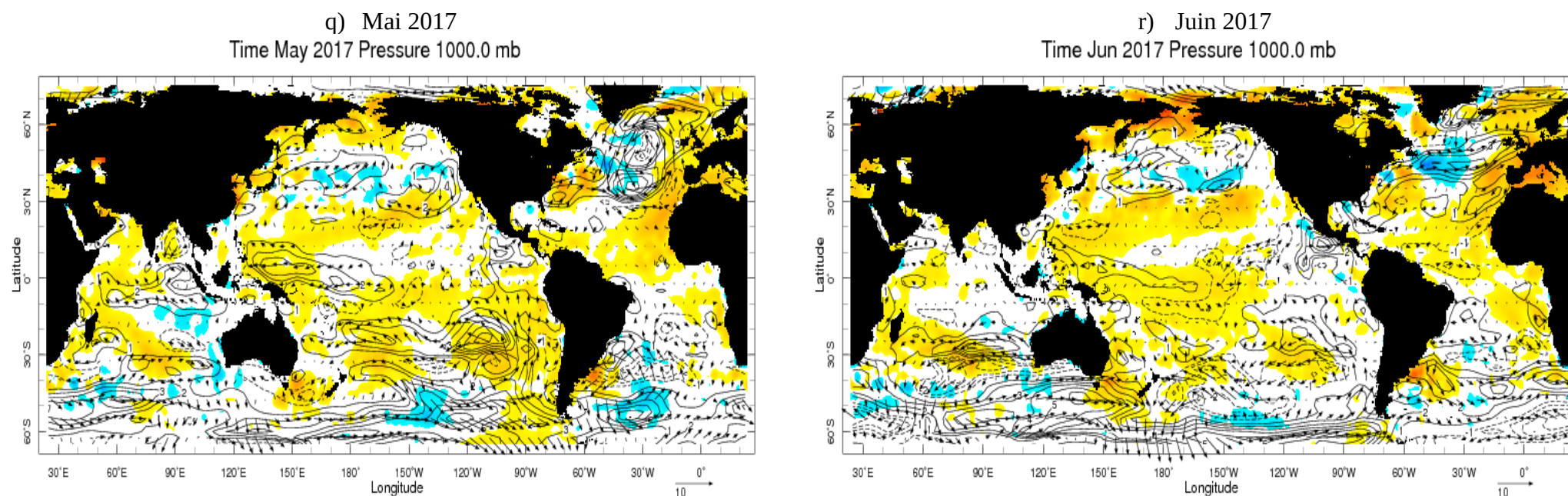


Figure 68 : Cartes Composites d'anomalies SST, direction et vitesse du vent combinées à l'échelle mensuelle à 1000mb comparées avec la période de base 1971-2000 de janvier 2016 à juin 2017

Source: IRICS-Earth Institute, Columbia University

Du mois de Février jusqu'au mois de Juin 2017, Figure 68-n) à 68-r), les SST respectives de l'Océan Indien et du Pacifique remontent en séquence vers les valeurs positives. La ZCIT descend sur sa position habituelle pendant l'été austral ; Les anomalies froides sont remplacées par les anomalies chaudes provenant du Sud de l'océan Indien, on a un IOD positif en Mai et une phase neutre chaud dans le Pacifique. Les anomalies chaudes de l'Ouest de l'océan Indien créent un tourbillon dépressionnaire, apparemment un cyclone en Fin Février repoussant complètement les anomalies négatives vers l'Océan Indien Est. On peut observer le début de formation du prochain El Niño si les conditions sont les mêmes mais inversement.

On peut dire que le relâchement brusque des vents d'Est, vue la vitesse de désintégration de l'El Niño, a poussé les anomalies froides du Pacifique Ouest vers l'Océan Indien Ouest en créant un centre de haute pression persistant au début de l'hiver austral ne se dissipant qu'au milieu de l'été austral.

Section 2 Identification des périodes ENSO et IOD

Dans ce paragraphe, nous allons représenter graphiquement les valeurs des indices qui permettent d'identifier un épisode ENSO et IOD respectivement : l'ONI index et le DMI index. Après, nous répertorions dans un tableau chaque épisode de la période de base 1952 à Juin 2017.

I. Les périodes ENSO

Sur la Figure 69, on a représenté les indices ONI. La courbe en noire est une courbe d'interpolation (lissée), les marqueurs en étoiles noires indiquent chaque valeur de l'ONI sur chaque période de 3-mois consécutifs. Les périodes ENSO sont répertoriées dans le Tableau 44 suivant leur intensité respective.

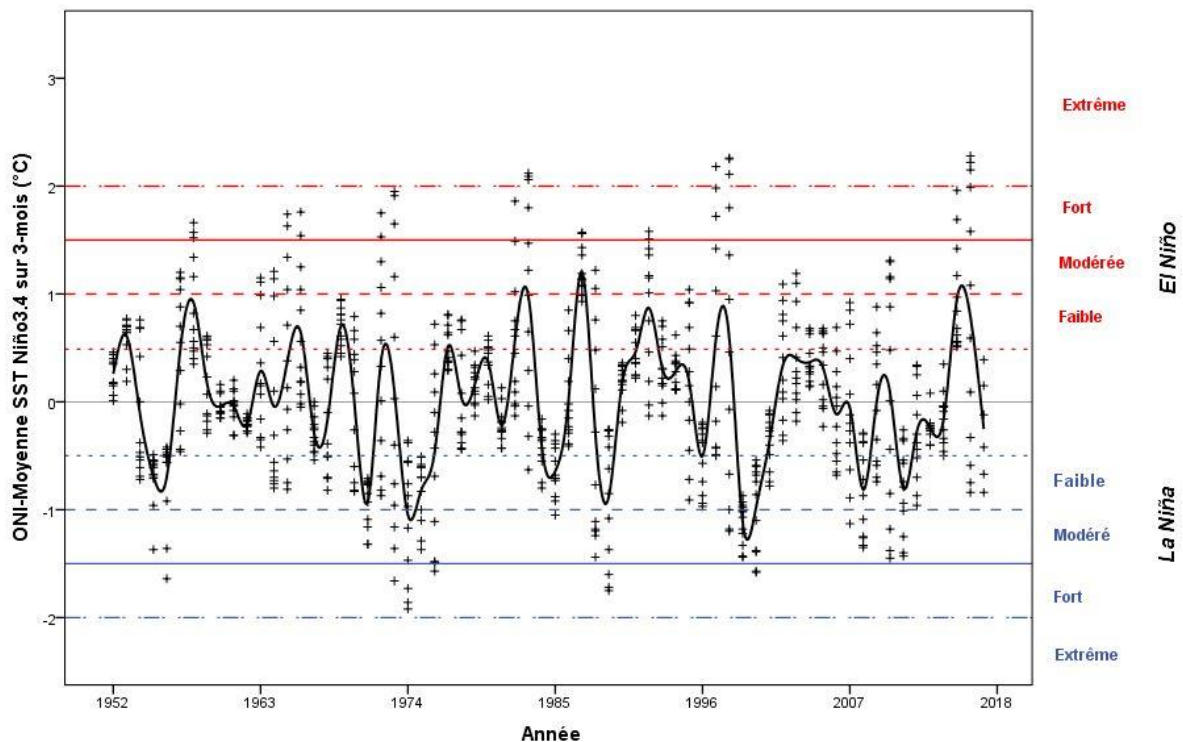


Figure 69 : Représentation graphique des indices SST ONI sur la période 1952 à Juin 2017

Source : Auteur

Tableau 44 : Tableau de classification des années ENSO sur la période de 1952 à Juin 2017.

Source : Auteur

El Niño				La Niña		
Faible	Modéré	Fort	Extrême	Faible	Modéré	Fort
1952-53	1963-64	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1986-87	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1987-88	1972-73	2015-16	1967-68	1998-99	1988-89
1968-69	1991-92			1971-72	1999-00	
1969-70	2002-03			1974-75	2007-08	
1976-77	2009-10			1983-84	2010-11	
1977-78				1984-85		
1979-80				1995-96		
1994-95				2000-01		
2004-05				2011-12		
2006-07				2016-17		

II. Les périodes IOD

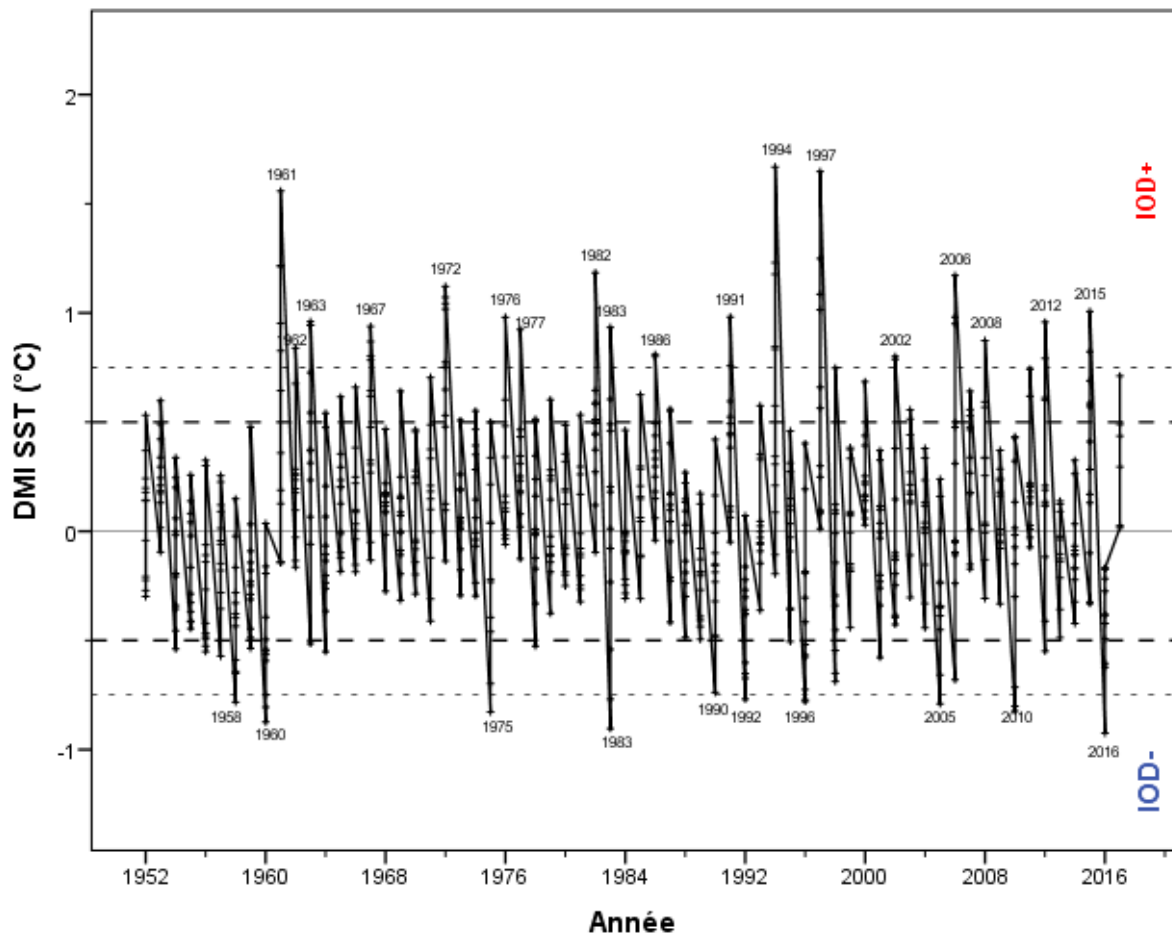


Figure 70 : Représentation graphique des indices SST DMI sur la période 1952 à Juin 2017

Source : Auteur

La Figure 70 représente les indices DMI, différence entre les SST de l'Océan Indien Ouest et Est. Par définition, il est dit qu'un IOD se manifeste durant l'automne boréal (Septembre-octobre-Novembre) associé à un pic durant la même période. Les croix noires indiquent les valeurs du DMI en °C au pas de temps mensuel. Les Croix étiquetées par des années représente les périodes qui remplissent la condition citée précédemment. Les années IOD sont répertoriées dans le tableau 45. Effectivement, l'année 2016 est classée parmi les IOD négatifs.

Tableau 45 : Tableau de classification des années IOD sur la période de 1952 à Juin 2017.

Source : Auteur

IOD positif	IOD négatif
1961-1962-1963-1967-1972-1978-1977-1982-1983-1986- 1991-1994-1997-200-2006-2008-2012-2015	1958-1960-1975-1983-1990- 1992-1996-2005-2010-2016

Section 3 Mise en évidence de l'impact des variabilités climatiques ENSO-IOD sur les précipitations de la Station Antananarivo DMH

Tout d'abord, les résultats que nous avons vus précédemment indiquent que l'anomalie est principalement une anomalie saisonnière, par identification une sécheresse saisonnière extrême pendant la saison des pluies 2016/2017. Cependant, il ne faut pas nier que le précurseur de cette anomalie se situe en plein milieu de la saison sèche ; Par conséquent, nous allons faire une ACP sur les données mensuelles pour expliquer le fonctionnement des variabilités ENSO-IOD et savoir lesquelles des deux influent le plus sur les précipitations de la Station Antananarivo DMH. Ensuite, nous entamerons une autre ACP, mais cette fois ci à l'échelle saisonnière sur les saisons des pluies pour identifier la cause principale de l'anomalie de la saison des pluies 2016-2017. Notons que toutes les variables utilisées seront standardisées pour travailler sur un seul système d'unité cohérents qui est l'écart-type. Pour terminer, une Classification Ascendante Hiérarchique basée sur la méthode de Ward sera effectuée sur les différentes saisons de pluies durant ces 65 ans pour faire ressortir la(les) principale(s) variabilité(s) correspondante(s) responsables de la variabilité des précipitations durant les saisons de pluies. Plus concrètement, la sécheresse saisonnière.

I. Schéma des données exploitées

Ici, nous avons utilisé les SPI sur 1 mois. Pour caractériser ENSO, les indices : SOI, MEI, BEST, et les SST : Niño1+2, Niño3, Niño4, Niño3.4 ont été utilisés. Quant à l'IOD, les indices : DMI, SIOD et les SST : WTIO et SETIO ont été employés. Au total, nous avons 12 variables à analyser. Les individus sont chaque mois de la période débutant le mois de Janvier 1952 jusqu'au mois de Juin 2017, au total 786 mois qui rend pratiquement l'analyse visuelle impossible à faire, nécessite alors l'utilisation des traitements automatiques comme l'ACP. La disposition des données centrées-réduites se présente comme dans le tableau 46.

Tableau 46 : Schéma des données sur l'ACP normée mensuelle.

Source : Auteur

Date en Mois	SPI-1	DMI	SIOD	WTIO	SETIO	SOI	MEI	BEST	NIÑO1+2	NIÑO3	NIÑO4	NIÑO3.4
Jan 52	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Jun 17	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

II. Significativité de l'ACP

Comme il a été présenté dans la Partie II-Chapitre 9-III, certaines conditions initiales nécessitent d'être vérifiées pour donner une signification à l'ACP. On parle ici des 3 conditions : la matrice des corrélations, l'indice KMO et le test de sphéricité de Bartlett.

1. La matrice des corrélations des indices et SST mensuelles

La première condition, sur le Tableau 47 ci-dessous est répertoriée la matrice des corrélations des indices.

Tableau 47 : Matrice des corrélations des indices SPI, ENSO, IOD et des SST mensuels de l'océan Indien et du Pacifique.

Source : Auteur

Matrice des corrélations												
	SPI-1	DMI	WTIO	SETIO	SIOD	SOI	MEI	BEST	Niño1+2	Niño3	Niño4	Niño3.4
SPI-1	1	0.085	-0.085	-0.112	0.017	-0.075	0.045	0.064	0.050	0.057	0.025	0.053
DMI	0.085	1	0.260	-0.538	0.000	-0.204	0.207	0.250	0.233	0.265	0.200	0.249
WTIO	-0.085	0.260	1	0.615	-0.107	-0.321	0.566	0.406	0.398	0.497	0.517	0.466
SETIO	-0.112	-0.538	0.615	1	-0.133	-0.123	0.329	0.169	0.143	0.228	0.289	0.218
SIOD	0.017	0.000	-0.107	-0.133	1	0.153	-0.196	-0.186	-0.108	-0.170	-0.213	-0.220
SOI	-0.075	-0.204	-0.321	-0.123	0.153	1	-0.750	-0.903	-0.472	-0.633	-0.687	-0.701
MEI	0.045	0.207	0.566	0.329	-0.196	-0.750	1	0.891	0.729	0.887	0.847	0.904
BEST	0.064	0.250	0.406	0.169	-0.186	-0.903	0.891	1	0.613	0.842	0.861	0.913
Niño1+2	0.050	0.233	0.398	0.143	-0.108	-0.472	0.729	0.613	1	0.842	0.485	0.677
Niño3	0.057	0.265	0.497	0.228	-0.170	-0.633	0.887	0.842	0.842	1	0.773	0.944
Niño4	0.025	0.200	0.517	0.289	-0.213	-0.687	0.847	0.861	0.485	0.773	1	0.910
Niño3.4	0.053	0.249	0.466	0.218	-0.220	-0.701	0.904	0.913	0.677	0.944	0.910	1

Effectivement, on a plusieurs indices corrélés, les indices ENSO BEST et MEI sont fortement corrélés positivement avec les 4 SST du Pacifique. Seul l'indice SOI est corrélé négativement avec ces autres indices et SST ENSO, ce qui est en effet logique puisque par définition la SOI est la différence de pression entre Tahiti à l'Est et Darwin à l'Ouest ; les autres indices caractérisent tous le pacifique Est, donc si leurs valeurs augmentent normalement celles de la SOI diminuent. Logiquement, les SST du pacifique sont fortement corrélés positivement entre-eux. Les indices et SST de l'Océan Indien sont corrélés moyennement entre-deux à l'exception des indices DMI et SIOD qui ne présentent aucune

relation de dépendance puisque leur coefficient de corrélation est égal à 0. Le DMI et les indices ENSO, ainsi que les SST respectives présentent des corrélations faibles, elles sont toutes positives sauf avec la SOI. Par contre les SST Est et Ouest de l'Océan Indien présentent des corrélations moyennes avec les indices et SST du pacifique, on peut dire qu'il existe une relation assez significative entre-eux que l'on démontrera plus bas. Les SPI sur 1 mois d'ailleurs présentent des corrélations positives très faibles avec toutes les indices et SST à l'exception des SST : SETIO, WTIO et l'indice SOI avec lesquels il présente des corrélations négatives très faibles mais plus significatives par rapport aux autres. L'indice SIOD laisse indifférent vis-à-vis de l'Océan Indien mais il semble être en relation avec l'Océan pacifique vu que le coefficient augmente lorsqu'on va vers l'Est du pacifique.

2. Signification de l'indice KMO et du Test de sphéricité de Bartlett

Comme nous l'avons déjà vu dans la Partie II-Chapitre 9-III, 2-3, l'indice KMO indique la signification de la compression des variables, c'est-à-dire la précision obtenue à partir de la réduction des dimensions des variables. D'un autre part, le Test de sphéricité de Bartlett indique la signification des relations linéaires entre les variables.

Tableau 48 : Tableau de signification des relations linéaires et de dépendances entre les variables.

Source : Auteur

Indice KMO et test de Bartlett		
Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage		0.710
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximatif	12591.8348
	ddl	66
	Signification	0

Sur le Tableau 48, l'indice KMO est égal à 0,710 ce qui signifie que la réduction est moyennement efficace (acceptable). Le test de Bartlett, par contre nous indique que la colinéarité entre les variables est parfaite, les premières dimensions expliquent presque 100% de l'inertie totale, mais pas la variabilité totale. Le Khi-deux approximatif indique la somme des carrés des variables indépendantes centrées-réduites obtenue à partir du degré de liberté qui est égal à 66.

En tout, les 3 conditions initiales sont toutes bien respectées, on peut dire que l'ACP montrera bien les relations et les informations contenues sur chaque variable.

III. Extraction des composantes principales

Dans ce paragraphe, nous allons appliquer les règles d'extraction et caractériser chaque composante par son pourcentage d'information.

1. Choix du nombre de facteurs

Pour fixer le nombre d'axe d'inertie maximum, la règle des valeurs propres est une bonne approche pour faciliter l'interprétation des axes et des plans factoriels. Notons que nous cherchons à expliquer la

variabilité des précipitations, plus précisément la cause de la sécheresse, pour cela il nous faut soutirer le maximum d'informations sur les facteurs. Il est aussi dit que plus la valeur propre (inertie maximum) est élevée plus le facteur explique significativement la variance. Puisqu'on a plusieurs corrélations moyennes, l'emploi de la rotation « Varimax » sera un atout de même que pour la facilitation de l'interprétation. Dans notre cas, nous avons choisi personnellement 4 facteurs.

Tout d'abord, rappelons que le premier objectif de l'ACP est de réduire la dimension des variables. En suivant la règle des valeurs propres, le tableau 49 nous dit de prendre 3 facteurs (les valeurs propres sur les cases gris), soit 74,2% d'informations, trop peu pour l'approche voulue (on risque de fausser les interprétations). Or, observez la matrice des composantes après rotation sur la totalité des indices sur le Tableau 50 ; En appliquant la règle du Coude de Cattell sur la Figure 71, on prend les 7 premiers facteurs, c'est-à-dire 5 variables de moins que la configuration initiale ; ceci est en effet trop redondant pour l'interprétation. Pour y remédier à ce problème, on a observé la variance totale au Tableau 49 ; remarquez que sur la 4^{ème} composante la valeur propre est égale à $0,957 \approx 1$ et le pourcentage de la variance est égal à 7,975% très sensiblement égal à celle de la 3^{ème} composante. Notons aussi que la statistique ne sert pas à prédire la réalité mais à minimiser l'incertitude entre l'estimation et cette réalité. Donc, on a relancé l'analyse sous SPSS en fixant le nombre de facteurs à 4, soit 82,17% de l'informations (plus convaincant que 3 facteurs et assez significatif). Les résultats sont répertoriés dans les tableaux 51 et 52, on n'y voit bien la compression de l'information en comparant les Tableaux 50 et 52. Le Tableau 51 représente la contribution des variables sur tous les facteurs, on obtient le pourcentage de la perte d'information en soustrayant les initiales par l'extraction, cette dernière est la résultante de la somme des contributions de chaque composante sur chaque indice au Tableau 52. Le choix de 4 facteurs s'avère judicieux puisque la qualité de représentation est très significative, une petite exception s'applique à l'indice Niño 1+2 dont la contribution sur la totalité des axes est égale à 0,596 ; cette valeur signifie que cette SST contribue de peu sur l'explication de la variabilité des précipitations.

2. Indicateur d'inertie

Vue que notre ACP est fait à partir de variables centrées-réduites, l'inertie totale est égale au nombre de variables, égal à 12. Sur le Tableau 49, en optant pour 4 facteurs, on a une inertie de 9,861 qui représente 82,177% de l'inertie des nuages dans l'espace tout entier. Les facteurs représentent respectivement : 51,584% ; 14,18% ; 8,470% ; et 7,975% en divisant l'inertie totale. La première composante ne présente que la moitié des informations, par conséquent, les 3 autres composantes servent de complément ; on peut dire aussi que les données sont très hétérogènes ce qui rendra l'interprétation très délicate.

Tableau 49 : Variance totale expliquée

Composante	Valeur propre	% de la variance	% cumulé
1	6.190	51.584	51.584
2	1.698	14.148	65.732
3	1.016	8.470	74.202
4	0.957	7.975	82.177
5	0.860	7.165	89.341
6	0.669	5.578	94.919
7	0.364	3.035	97.954
8	0.098	0.820	98.774
9	0.079	0.659	99.433
10	0.040	0.330	99.763
11	0.022	0.180	99.943
12	0.007	0.057	100

Tableau 50 : Matrice des composantes après rotation sur la totalité des indices.

INDICES	COMPOSANTE											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Niño3.4	0.939	0.138	0.071	0.258	-0.093	0.021	0.061	0.096	-0.044	0.004	-0.031	-0.058
Niño4	0.936	0.231	0.038	0.022	-0.087	0.004	0.073	-0.228	-0.040	-0.007	-0.043	0.034
BEST	0.869	0.088	0.076	0.190	-0.062	0.026	0.410	0.039	-0.003	0.015	0.143	0.000
MEI	0.821	0.269	0.024	0.340	-0.070	0.022	0.202	0.004	0.301	0.004	0.001	0.000
Niño3	0.801	0.179	0.083	0.517	-0.052	0.026	0.049	0.202	-0.040	0.016	-0.042	0.052
WTIO	0.306	0.922	0.148	0.145	-0.028	-0.054	0.052	-0.008	0.010	-0.081	-0.002	0.001
SETIO	0.155	0.725	-0.630	0.035	-0.069	-0.049	0.011	0.018	0.012	0.211	0.005	0.000
DMI	0.156	0.063	0.980	0.083	0.005	0.038	0.042	0.006	0.004	0.037	0.002	0.000
Niño1+2	0.450	0.127	0.080	0.875	-0.024	0.021	0.088	-0.021	0.019	-0.001	0.009	-0.008
SIOD	-0.123	-0.042	0.021	-0.025	0.990	0.009	-0.028	0.000	-0.003	-0.002	0.000	0.000
SPI-1	0.034	-0.055	0.044	0.018	0.009	0.997	0.019	0.001	0.001	-0.001	0.000	0.000
SOI	-0.649	-0.064	-0.059	-0.113	0.049	-0.039	-0.744	0.006	-0.017	0.001	0.015	0.000

Tableau 51 : Qualité de représentation sur 4 facteurs.

Indices	Initiales	Extraction
SETIO	1	0.955
MEI	1	0.926
Niño3.4	1	0.922
BEST	1	0.914
Niño3	1	0.885
SIOD	1	0.863
DMI	1	0.839
Niño4	1	0.805
SPI-1	1	0.749
WTIO	1	0.725
SOI	1	0.683
Niño1+2	1	0.596

Tableau 52 : Matrice des composantes après rotation réduite à 4 facteurs.

Indices	Composante			
	1	2	3	4
MEI	0.956	0.087	0.063	-0.036
Niño3.4	0.954	-0.010	0.017	-0.104
BEST	0.944	-0.044	-0.063	-0.129
Niño3	0.939	-0.018	0.052	0.008
Niño4	0.883	0.076	0.062	-0.122
SOI	-0.802	0.047	0.124	0.145
Niño1+2	0.760	-0.063	0.058	0.104
WTIO	0.572	0.273	0.517	0.238
SETIO	0.260	0.900	0.273	0.051
DMI	0.303	-0.832	0.184	0.142
SPI-1	0.128	0.004	-0.844	0.142
SIOD	-0.169	-0.066	-0.098	0.906

Source : Auteur

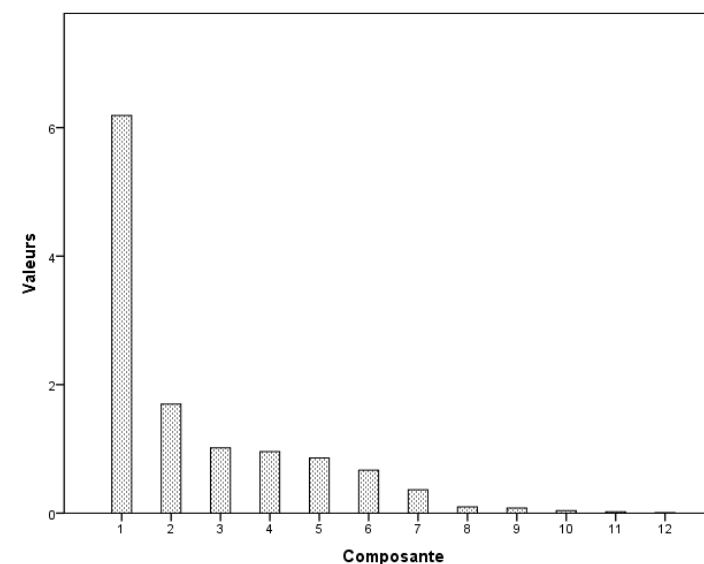


Figure 71 : Diagramme des valeurs propres.