

00001010

ISSN 0850-1602

**ANALYSE DE LA VARIABILITE DU VENT
A SAINT-LOUIS DURANT LA SAISON FROIDE
DECEMBRE 1989 - MAI 1990**

P. CECCHI



**DOCUMENT
SCIENTIFIQUE**

CENTRE DE RECHERCHES OCÉANOGRAPHIQUES DE DAKAR - TIAROYE

NUMÉRO 126

* INSTITUT SÉNÉGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES *

SEPTEMBRE 1991

ANALYSE DE LA VARIABILITE DU VENT A SAINT-LOUIS DURANT LA SAISON FROIDE DECEMBRE 1989 - MAI 1990

par

Philippe CECCHI(*)

RESUME

Les données météorologiques relatives à la vitesse et à la direction du vent mesurées à l'aérodrome de Saint-Louis (Sénégal) durant la saison sèche (décembre 1989 - mai 1990) sont ici considérées.

Il apparaît que cette saison est caractéristique d'une phase **intensive** (*sensu* Roy 1989) du régime des alizés : sur l'ensemble de la période, la vitesse moyenne est élevée (5.2 m.s^{-1}) et les vents de secteur N-NE dominant.

L'analyse statistique des données tri-horaires regroupées suivant différents pas de temps fait ressortir plusieurs points :

- Les fréquences des vents d'origine maritime et continentale varient **toujours** en opposition de phase.

- Le début de la saison sèche est caractérisé par un régime d'alizés perturbé avec de fréquentes et violentes fluctuations dans la direction des flux dominants et une vitesse moyenne relativement

(*) Biologiste de l'ORSTOM en poste au Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye (CRODT-ISRA), BP 224 1, DAKAR (SENEGAL).

faible ; à l'inverse, la fin de la saison sèche est remarquable par la constance et la vigueur des flux d'alizés continentaux.

- Il existe une périodicité nycthémérale rémanente sur l'ensemble de la période considérée, la vitesse du vent étant minimale au lever du jour et maximale en milieu d'après-midi ; une périodicité asynchrone dans la direction dominante du vent y semble associée, surtout pour la deuxième période.

Mots clés : Alizés, variabilité à court et moyen terme, estuaire du fleuve Sénégal.

ABSTRACT

Wind data collected during the cold season, between December 1989 and May 1990, at the meteorological station of Saint-Louis airport (Senegal) are considered.

This season appears representative of an **intensive** phase (*sensu* Roy 1989) of the trade-winds activity : the mean wind speed over the entire period is high (5.2 m.s^{-1}), and associated with a N-NE dominance in the trade-winds direction.

Statistical analysis of the tri-hourly wind data averaged over different time intervals shows that :

- Landward and seaward wind frequencies vary in opposition.
- Winter is characterized by a disturbed trade-winds flow with high and frequent fluctuations in wind direction and a relatively weak mean wind speed. During spring, on the opposite, the wind regime appears regular with a high and persistent landward flux.
- Throughout the period studied, trade-winds velocity shows a remanent nycthemeral periodicity. Wind speed is minimal in the early morning and maximal in mid-afternoon, and wind direction shows a similar, but asynchronous periodicity, particularly during spring.

Key words : trade-winds, middle and short-term variability, Senegal estuary.

PLAN DIRECTEUR

INTRODUCTION

1. CADRE GENERAL

Spectre de variabilité

2. SAISON SECHE 1989- 1990

2.1. Ensemble de la période

2.2. Spectre de variabilité

2.2.1. Variabilité inter-journalière

2.2.2. Variabilité hebdomadaire

2.2.3. Variabilité infra-journalière

CONCLUSION

REMERCIEMENTS

BIBLIOGRAPHIE

FIGURES

INTRODUCTION

D'un point de vue strictement physique, les moteurs de l'hydrodynamique estuarienne, susceptibles d'infléchir les tendances à la stratification d'origines thermique ou pycnoclinique, sont de trois ordres : le vent, la marée et les apports continentaux. Le poids respectif de ces différents forçages, leur intensité, leur spectre de variabilité, imposeront aux masses d'eaux et à leurs hôtes leurs dynamiques particulières. Aussi, dans le cadre de la description des mécanismes et processus qui contrôlent le fonctionnement hydrodynamique de l'estuaire du fleuve Sénégal, nous est-il apparu nécessaire de caractériser dans le détail la nature de ces variables majeures.

Dans le présent document, nous nous focaliserons uniquement sur la variabilité des vents mesurés à Saint-Louis durant la saison sèche 1989- 1990.

1. CADRE GENERAL

La présence de trois anticyclones subtropicaux constitue l'élément le plus significatif de la variabilité du climat de l'Afrique Occidentale.

- L'anticyclone des Açores, caractérisé par une forte variabilité saisonnière de cote et de position, occupe sa position la plus méridionale en janvier-février. Il dirige alors sur le Sénégal un flux de secteur Nord à Nord-Est.

- L'anticyclone continental saharien, qui n'est pas un anticyclone permanent, dirige de novembre à mai sur l'Afrique sahélienne un flux de secteur Est : alizé sec ou harmattan. Lorsque la situation météorologique est peu perturbée sur le nord de l'Afrique, les anticyclones lybien et des Açores sont soudés et un flux unique de secteur Est intéresse alors toute la zone sahélienne.

- L'anticyclone de Sainte-Hélène, doté d'une variabilité moindre que celui des Açores, occupe lui aussi sa position la plus méridionale en janvier. Sa migration vers le nord, maximale en août, entraîne la mise en place d'un flux de mousson du Sud-Ouest atteignant les côtes du Sénégal.

SPECTRE DE VARIABILITE

Aux latitudes sénégalaises, le balancement saisonnier des anticyclones des Açores et de Sainte-Hélène, perturbé par l'influence temporaire de l'anticyclone continental saharien, se traduit par l'alternance de deux saisons marquées liées au déplacement moyen de la ZITC : Zone Inter-Tropicale de Convergence (Leroux, 1983). Le contraste océan-continent impose toutefois aux conditions météorologiques de l'Afrique Occidentale tout entière une complexité certaine, du fait, en particulier, de la migration différente des centres d'action sur l'océan et sur le continent (Leroux, 1972). On peut cependant dire que le régime des alizés prédomine lorsque la ZITC est rejetée au sud du 10° de latitude Nord (Dhonneur, 1973).

A l'échelle annuelle, on distinguera suivant Rébert (1983) trois périodes :

- de novembre à février, les vents de secteur N-NE sont dominants ; c'est l'alizé continental ou harmattan ;
- de mars à mai, dominance du secteur N avec progressive rotation vers l'W ; ce sont les alizés maritimes ;
- de juillet à septembre, grande variabilité avec néanmoins dominance du secteur W : c'est la saison humide ou hivernage ;
- octobre et juin apparaissent comme étant des mois de transition rapide.

A partir des données instantanées tri-horaires enregistrées à l'aéroport de Dakar-Yoff sur la période 1963-1986, Roy (1989) a montré que la vitesse moyenne du vent par quinzaine croît régulièrement d'octobre à décembre jusqu'à 5 m.s⁻¹, reste stable à cette valeur jusqu'à la première quinzaine de février, puis s'accroît de nouveau pour atteindre son maximum, supérieur à 6 m.s⁻¹, en avril. A partir de mai, la vitesse moyenne diminue de nouveau régulièrement pour se stabiliser durant l'hivernage au voisinage de 3 m.s⁻¹. Ces observations confirment la remarque de Rébert (1983) qui signalait que l'intensité des vents est plus forte en fin de période d'alizés qu'au début.

L'importance des facteurs climatiques sur l'écosystème marin de l'Atlantique Est a été abondamment illustrée (voir, par exemple Huntsman & Barber, 1977 ; Mittelstaed, 1983 ; Speth & Köhne, 1983 ; Jacques et Tréguer, 1986). Au Sénégal, du fait du rôle essentiel joué par la dynamique de l'upwelling côtier sur les pêcheries sénégalaises (Fréon, 1984 ; Binet, 1988 ; Cury et Roy, 1988), un intérêt particulier a été porté aux réponses de l'océan aux fluctuations climatiques (Teisson, 1982 ; Portolano, 1986), notamment dans le cadre de l'identification du spectre de variabilité du forçage physique imposé par le vent.

Roy (1989) s'est ainsi intéressé aux fluctuations d'intensité et de direction du vent durant la saison sèche (période d'activité de l'upwelling côtier sénégalais). Il en ressort que, suivant les années, les pourcentages des fréquences associées aux secteurs N-NE et NW-W dominant. Les vents de secteur N-NE étant en moyenne plus forts de 0,5 m.s⁻¹ que les vents de NW-N, leur dominance entraîne donc une augmentation de la vitesse moyenne saisonnière. Suivant Roy (1989), il apparaît que c'est le rythme, d'une période de l'ordre de 16 ans, observé dans la direction dominante qui induit l'alternance simultanée de périodes d'intensification et de relaxation des alizés déjà signalée par Teisson (1982).

Ce schéma général, brossé à partir de statistiques tri-horaires moyennées sur un ou plusieurs jours traduit donc :

- une variabilité à long terme (périodicité 16 ans) associée à des fluctuations dans la direction dominante des alizés,
- une variabilité saisonnière à grande échelle, largement décrite et liée au balancement de la ZITC.

En outre, sur la frange côtière sénégalaise, et notamment en saison sèche, ce schéma se complique singulièrement en raison de l'importance des écarts thermiques entre l'océan et le continent qui ajoute une forte composante diurne aux alizés (Halpern, 1977). Ce phénomène apparaît nettement sur les hodographes proposés par Rébert (1983) sur lesquels l'axe principal tend à être orienté Nord-Sud au niveau du Cap-Vert, et Est-Ouest à Saint-Louis du fait de la position plus continentale de cette station.

La présence de forts gradients zonaux locaux suggère ainsi l'existence probable d'une forte variabilité à très court terme ("composante diurne") liée aux écarts thermiques mer-continent. Dans la mesure où ces fluctuations à court pas de temps peuvent significativement affecter l'hydroclimat (forçage physique de la diffusion verticale turbulente), elles sont susceptibles également de conditionner notablement la dynamique du plancton estuarien. Les turbulences dues à l'effet du vent sont en effet susceptibles de concerner rapidement une fraction importante de la colonne d'eau, contrairement à la turbulence à plus long terme induite par les courants.

Nous nous intéresserons donc particulièrement à la description de cette composante à haute fréquence de la variabilité du régime de vent dans l'estuaire du fleuve Sénégal durant la saison sèche 1989- 1990.

2. SAISON SECHE 1989 - 1990

La station météorologique de l'aérodrome de Saint-Louis est située à proximité du fleuve Sénégal, à environ 3 kilomètres du littoral (fig. 1). Les données recueillies à cette station sont supposées représentatives du régime de vent auquel est soumis l'ensemble de la partie estuarienne du fleuve, bien que sa limite amont (barrage de Diama) soit située à plusieurs kilomètres de la côte.

Nous nous limiterons aux données de vent (vitesse et direction instantanées) enregistrées à 10 mètres toutes les trois heures de décembre 1989 à mai 1990. Huit secteurs de 45°, chacun numérotés de 1. à 8. ont été définis (N-NE, NE-E, ..., NW-N), le secteur numéroté 0 correspond au "calme" (vitesse nulle, pas de direction dominante). Différents groupements (hebdomadaire, journalier. etc) ont été effectués, pour lesquels la vitesse moyenne du vent et les fréquences moyennes par secteur ont été calculées.

2.1. ENSEMBLE DE LA PERIODE

Une analyse simple des données tri-horaires enregistrées au cours des six mois considérés (1 456 valeurs, fig. 2) fait apparaître quelques traits saillants (tabl. 1).

Sur l'ensemble de la série, la vitesse moyenne est de 5.2 m.s⁻¹. La fréquence cumulée des secteurs NW-N, N-NE et NE-E est voisine de 90 % avec plus de 60 % des enregistrements pour le seul secteur N-NE. Les fréquences des vents de secteur SE.-E à W-NW ainsi que les "calmes" apparaissent négligeables. On notera aussi la très faible contribution des vents du secteur NW-N (< 7 %) qui peut être liée, à Saint-Louis, à un effet dominant de l'influence continentale. On remarquera par ailleurs la vigueur des vents des secteurs 3 et 4 qui, bien que rares, seront susceptibles d'influer significativement sur la dynamique à court terme du régime dominant.

Ces résultats (vitesse moyenne élevée et **dominance** nette des vents de secteur N-NE) tendent à suggérer que l'on se situe durant cette période dans une phase "intensive" (sensu Roy, 1989) du régime d'alizés.

2.2. SPECTRE DE VARIABILITE

Différents groupements des données ont été effectués à partir de la série originale des vents tri-horaires en moyennant les vitesses instantanées consécutives sur différents pas de temps. Pour chaque série ainsi constituée, les descripteurs statistiques simples ont été calculés (tabl. 2).

Nous avons représenté sur la figure 3 l'évolution de la variance en fonction du pas de temps choisi pour regrouper les données.

Il apparaît, comme l'on pouvait s'y attendre, une nette diminution de la variance depuis $V = 6,22 \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$, pour les valeurs instantanées, jusqu'à $V = 0,71 \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$ pour la série des moyennes mensuelles.

On observera toutefois que :

- La variance de la série des moyennes mensuelles, bien que très faible par rapport à celle des valeurs instantanées, n'est pas négligeable. Un tel regroupement mensuel des données, sans grand intérêt pratique, nous permet cependant d'identifier la part de variabilité de la série liée à une composante à long terme : c'est la trace du cycle annuel que l'on prend en compte en ne considérant que la saison sèche.

- La part de variabilité infra-journalière (qui disparaît lorsque l'on moyenne les données sur 24 heures) est très importante. Cette chute de variance indique qu'un fort pourcentage de la variance totale de la série est imputable à une forte hétérogénéité infra-circadienne dans le rythme du vent. Notons en outre que, si les divers enregistrements d'une même journée étaient totalement indépendants, la variance attendue pour la série des vents considérée journalièrement serait $1/8 \times 6,22 = 0,78 \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$, valeur beaucoup plus faible que celle que l'on observe. Ceci indique l'existence d'une forte autocorrélation entre les enregistrements successifs d'un même jour. Nous y reviendrons ultérieurement en détaillant la rémanence d'une périodicité nyctémérale caractéristique sur l'ensemble de la période considérée.

- Une grande fraction de la variabilité, filtrée des fluctuations à très court pas de temps, est dissipée dans la fenêtre 1-30 jours : domaine des processus physiques à court et moyen terme. On quitte là l'échelle de la tendance climatique pour rentrer dans celle des **événements** météorologiques qui pourront être de deux ordres :

- soit rémanents et périodiques : autant que leur amplitude ou leur intensité, la fréquence de tels événements pourra alors constituer une véritable variable de forçage

- soit aléatoires et imprévisibles : à l'échelle du phytoplancton, de telles perturbations seront alors susceptibles de fortement affecter les caractéristiques des peuplements qui les suibissent.

Pour le phytoplancton, cette fenêtre temporelle est de première importance. En effet, bien que les algues aient la possibilité - dans la limite de leurs capacités métaboliques (physiologiques) - de filtrer la variabilité à haute fréquence imposée par le milieu, il apparaît que les processus microscopiques engendrés aux courtes échelles de temps seront susceptibles de guider, voire de structurer, les réponses du système et ses propriétés émergentes observables (Harris, 1986). Nous nous attacherons donc, dans les paragraphes suivants, à en saisir les caractéristiques les plus marquantes.

2.2.1. Variabilité inter-journalière

L'analyse de la série des vents moyens journaliers permet de s'affranchir de la périodicité nyctémérale évoquée précédemment et détaillée au paragraphe suivant. Nous avons représenté sur la figure 4 l'évolution de la vitesse moyenne journalière sur les six mois considérés.

Il apparaît que l'évolution à long terme de la série n'est pas négligeable : de 4 m.s^{-1} environ en début de période à 6 m.s^{-1} en fin de période. Le maintien dans le temps d'un régime de vents forts constitue de fait une caractéristique importante de la saison considérée. Par forçage physique, la persistance de ce régime intense sera en effet susceptible de notablement affecter la structure même des peuplements phytoplanctoniques de l'estuaire :

- en termes d'hydroclimat : remise en suspension des sédiments avec remise en solution de sels nutritifs et/ou modifications des caractéristiques optiques de la colonne d'eau, mélange de masses d'eaux de qualités différentes ;

- en termes de transport actif des particules phytoplanctoniques : déplacement des algues par diffusion verticale turbulente et/ou dilution des structures par advection horizontale.

La série apparaît d'autre part marquée par une forte irrégularité de la vitesse du vent, avec une succession de fluctuations de faible amplitude et l'irruption d'événements violents, d'une durée de quelques jours et dont l'amplitude peut largement excéder l'amplitude de la variabilité saisonnière.

L'auto-corrélogramme relatif à la série des vents journaliers (non figuré) n'a pas fait ressortir de caractéristique particulièrement remarquable sinon l'absence de corrélation significative au-delà de deux jours entre valeurs successives. Les données tri-horaires ont donc été regroupées hebdomadairement, les objectifs d'un tel lissage étant de filtrer la variabilité à court et très court termes de manière, d'une part, à révéler les tendances à moyen terme et, d'autre part, à mettre en évidence les événements majeurs susceptibles de s'y superposer.

2.2.2. Variabilité hebdomadaire

Nous avons représenté sur les figures 5a et 5b l'évolution hebdomadaire des caractéristiques du vent enregistré à Saint-Louis au cours de la saison sèche 1989-1990 (moyennes sur 7 jours : tableau 3).

L'observation simultanée des figures 5a et 5b autorise quelques remarques :

- il apparaît nettement une opposition de phase significative entre le secteur N-NE et le secteur mixte NE-SE : la fréquence d'occurrence du vent dans le secteur N-NE est maximale quand elle est minimale dans le secteur NE-SE, et inversement ;
- la contribution de secteur N-NE est très largement dominante en fin de saison (> 80 %), période durant laquelle la vitesse moyenne fluctue peu, c'est également l'époque durant laquelle la contribution du secteur NW-N (non figurée, voir tableau) atteint son maximum saisonnier ;
- avant la seizième semaine (mi-mars), la vitesse moyenne évolue peu, mais est caractérisée par des fluctuations d'amplitudes parfois importantes (par exemple semaine 8 : 2^{ème} quinzaine de février). A cette époque, les contributions respectives des secteurs **N-NE** et **NE-SE** sont peu différentes, déphasées et très fluctuantes.

Il semble donc se dégager un schéma composé de deux phases successives.

- Durant les quinze premières semaines : régime d'alizés perturbé. Les vents soufflent tantôt de secteur Nord, tantôt de secteur Est, avec des transitions rapides d'une semaine à l'autre. La vitesse moyenne hebdomadaire augmente progressivement et est marquée par d'importantes fluctuations. Il est à noter que les pics de vitesse des semaines 8 et 13 sont tous deux simultanés à une augmentation significative de la contribution des vents du secteur E-SE (respectivement 26,8 % et 21,4 % : maxima saisonniers),

- Après la 15^{ème} semaine : brusque et régulière augmentation de la vitesse moyenne associée à une dominance progressive des vents de secteur N-NE et à un tarissement rapide des flux de secteur Est. La vitesse moyenne atteint alors son maximum saisonnier vers la mi-avril puis reste stationnaire un mois avant de commencer à diminuer à partir de la mi-mai. Les vents de secteur Nord dominent avec une faible variabilité tant en vitesse qu'en direction.

Ce schéma général est conforme à celui proposé par Roy (1989) : il met en relief l'influence de la variabilité de la **direction** du vent sur la dynamique du régime des alizés.

Il révèle par ailleurs la succession de deux situations très contrastées : une première période de vents relativement faibles, mais soumise à de violentes et transitoires perturbations dues à de brusques changements de la direction des vents dominants, puis une période marquée par un régime de vents beaucoup plus "prévisible" (évolution monotone ou stationnarité de la vitesse) liée à des flux d'alizés de secteur Nord très peu fluctuant. Roy (1989) avait déjà souligné le rôle majeur de la direction du vent sur la variabilité saisonnière et interannuelle de l'intensité du régime des alizés. Il semble qu'à moyen terme et durant la saison étudiée, un tel contrôle de la vitesse moyenne par la direction dominante soit encore identifiable.

2.2.3. Variabilité infra-journalière

Nous avons représenté sur la figure 6 l'auto-corrélogramme relatif à la série brute des vents tri-horaires instantanés. Ce graphe fait ressortir l'existence d'une nette périodicité infra-circadienne (lag 8 = 24 h), rémanente à l'échelle des six mois considérés, et qui est vraisemblablement à relier à l'existence d'une forte composante diurne: due aux écarts thermiques océan-continent qui tendront localement à perturber la dynamique à grande échelle du régime des alizés.

L'existence de deux périodes successives dans la saison nous a conduits à analyser séparément la nature de cette variabilité à haute fréquence au cours de ces deux périodes : du 1^{er} décembre au 15 mars, du 15 mars au 31 mai. Pour cela, nous avons représenté d'une part, l'évolution de la vitesse moyenne et, d'autre part, l'évolution de la fréquence relative moyenne d'occurrence du vent dans les quatre principaux secteurs toutes les trois heures (fig. 7a, b, c et 8a, b, c). Il apparaît ainsi que la variabilité circadienne indiquée par l'auto-corrélogramme est associée à un rythme caractéristique de même nature de fluctuations nyctémérales de la direction du vent.

Durant la première période, la vitesse passe par un minimum vers 6 heures et par un maximum vers 15 heures (fig. 7a) alors que, simultanément, la direction du vent oscille entre une nette dominance du secteur N-NE (secteur 1) (fig. 7b) et une situation moins contrastée où les quatre secteurs ont approximativement la même fréquence d'apparition (fig. 7b et 7c). Au cours de la seconde période, les fluctuations nyctémérales de la vitesse sont de même nature (fig. 8a), mais d'amplitude légèrement plus faible et avec un décalage du maximum vers la fin de l'après-midi. Les figures 8b et 8c montrent l'alternance simultanée des secteurs dominants, bien que les rythmes observés ne paraissent pas synchrones.

De telles fluctuations à très court terme ont déjà été documentées. Grall et al. (1982) ont ainsi mis en évidence l'influence de la pulsation journalière des alizés sur la production primaire au large du Maroc. Par ailleurs, il apparaît selon Lemoalle (1979) que, sur le lac Tchad, les vents forts ont une nette probabilité de souffler le matin alors qu'à l'inverse, sur le lac George, le maximum journalier en vitesse est observé en fin de journée vers 18 heures. Selon l'auteur, de telles différences sont à l'origine des écarts observés dans la productivité des deux milieux : le lac Tchad est proportionnellement moins productif que le lac Georges du fait d'une opacification drastique de ses eaux liée à la remise en suspension des sédiments par un *fetch* important et durable.

À l'échelle de l'ensemble de la saison, on observe toutefois une certaine constance dans l'évolution journalière des caractéristiques du vent. En particulier, les vents de secteur NW-N (alizés maritimes) ne soufflent en moyenne que l'après-midi, alors que la vitesse du vent est maximale, entraînant une diminution de la représentation des vents de secteur N-NE. Michel (1973), d'après des observations quotidiennes (à 6 heures, 12 heures et 18 heures) effectuées à Saint-Louis de 1951 à 1955, avait constaté l'occurrence journalière, dans le delta du fleuve Sénégal, d'une telle brise de mer diurne dont l'intensité augmente en fin d'après-midi.

Le tarissement périodique infra-journalier du flux d'alizé continental est imputable à une cinétique météorologique directement liée aux caractéristiques des centres d'action océaniques et continentaux. En effet, l'oscillation périodique de l'intensité et de la direction du vent est attribuable en partie à la variation diurne de la convection thermique due à l'échauffement des surfaces parcourues par le vent qui se fera différemment sur les surfaces continentales et sur les surfaces océaniques. Ce phénomène observable à très court terme apparaît ainsi lié à des processus climatiques à large échelle, ce qui justifie sa rémanence tout au long de la saison sèche.

CONCLUSION

L'analyse à divers pas de temps de la dynamique des vents en saison sèche à Saint-Louis fait apparaître plusieurs caractéristiques importantes :

- Sur toute la saison, les vents sont d'une intensité non négligeable puisque leur vitesse moyenne hebdomadaire varie de 4 m.s^{-1} environ au mois de décembre à plus de 6 m.s^{-1} au mois de mai.

- On observe la succession de deux périodes marquées par une baisse remarquable dans la **variabilité** de la direction des vents dominants. Le secteur des alizés continentaux (N-NE) devient majoritaire après le 15 mars. Avant cette date, la vitesse du vent montre des fluctuations de grande amplitude attribuables à des changements transitoires dans la direction dominante : les vents des secteurs continentaux (NE à SE), bien que peu **fréquents**, sont notoirement plus intenses. Ce sont eux qui imposent pour une grande part la variabilité observée à moyen terme.

- A très court terme apparaît une périodicité nyctémérale caractéristique : le vent est statistiquement plus fort l'après-midi que la nuit et le matin, avec un maximum vers 15 heures ; on observe par ailleurs une périodicité asynchrone entre la direction des vents et leurs vitesses.

- Quelle que soit l'échelle de temps considérée, une augmentation de la fréquence des alizés maritimes (NW-N) s'accompagne simultanément d'un tarissement des flux d'alizés d'origine continentale (N-NE).

La saison sèche 1989-1990 semble correspondre à une saison d'alizés **intensifs**, avec une vitesse moyenne élevée et une faible occurrence des vents de secteur NW-N. Il apparaît que, statistiquement, ces vents ne soufflent que périodiquement et exclusivement l'après-midi ; le contrôle de ce rythme diurne est vraisemblablement à rechercher parmi les caractéristiques climatiques régionales qui s'expriment à grande échelle : convections thermiques et déplacements de centres d'action météorologiques principalement. Une analyse des données historiques à Saint-Louis (période 1964-1989) serait toutefois nécessaire pour établir les caractéristiques particulières du régime des vents moyens sur l'estuaire et, en particulier, son spectre de variabilité inter-annuelle.

Les estuaires sont des milieux sensibles, d'une extrême variabilité spatio-temporelle tant longitudinale que transversale et verticale (Malone, 1986). L'impact d'une telle périodicité nyctémérale sur les caractéristiques hydro-bio-climatiques des masses d'eau estuariennes et sur leurs hôtes sera vraisemblablement notoire. Une intensification rapide et périodique de la vitesse du vent liée à un changement significatif de sa direction sera en effet susceptible :

- d'initier à court terme des processus accrus de diffusion verticale turbulente avec modification des propriétés de la colonne d'eau (Spigel et al., 1986), remise en suspension des sédiments et redistribution des sels nutritifs (Demers et al., 1987 ; Carper & Bachman, 1984 ; Gabrielson & Lukatelich, 1985),

- et de générer des transports advectifs horizontaux susceptibles de favoriser les échanges de propriétés entre masses d'eau (Le Fèvre, 1986) et de redistribuer latéralement les organismes phytoplanctoniques (Huzzey et al., 1990).

REMERCIEMENTS

Je remercie F. Laloë, J. Le Fur, B. Millet et C. Roy qui ont relu cette note et m'ont guidé de leurs conseils et recommandations.

BIBLIOGRAPHIE

- BINET (D.), 1988.- Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest-africaine. Aual. Liv. Resour. 1 : 115-132.
- CARPER (G.L.) et R.W. BACHMAN, 1984.- Wind resuspension of sediments in a Prairie Lake. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 41 : 1763- 1767.
- CURY (P.) et C. ROY, 1988.- Migration saisonnière et abondance apparente du Thiof au Sénégal : influence de la disparité régionale et des effets locaux de l'upwelling sénégal-mauritanien. Océanologica Acta, 11(1) : 25-36.
- DEMERS (S.), J.C. THERRIAULT. E. BOURGET et A. BAH, 1987.- Resuspension in a shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment : wind influence. Limnol. Oceanogr., 32 : 327-339.
- DHONNEUR (G.), 1973.- Agroclimatology in the Semi-arid areas south of the Sahara. Proceedings of the Regional Technical Conference, Dakar, 08/02/ 1971. W.M.O. 340 : 5-24.
- FREON (P.), 1984.- Des modèles de production appliqués à des fractions de stock dépendants des vents d'upwelling (pêche sardinière au Sénégal). Océanogr. trou. ORSTOM, 19(1) : 67-94.
- GABRIELSON (J.O.) et R.J. LUKATELICH. 1985.- Wind related resuspension. of sediments in the Peel-Harvey Estuarine System. Est. Coast. Shelf Sci. 20 : 135- 14.5.
- GRALL (J.R.), P. LE CORRE et P. TREGUER, 1982.- Short-term variability of primary production in coastal upwelling off Morocco. Rapp. P.V. Reun. Cons. int. Explor. Mer., 180 : 221-227.
- HALPERN (D.), 1977.- Description of wind and upper ocean current and temperature variations on the continental shelf off Northwest Africa during March and April 1974. J. Phy. Oceanogr., 7 : 422-430.
- HARRIS (G.P.), 1986.- Phytoplankton ecology : structure, function and fluctuation. Chapman and Hall, London, 384 p.
- HUNTSMAN (S.A.) and R.T. BARBER, 1977.- Primary production off northwest Africa : the relationship to wind and nutrient conditions. Deep-Sea Research, 24 : 25-33.
- HUZZEY (L.M.), J.E. CLOERN et T.M. POWELL, 1990.- Episodic changes in lateral transport and phytoplankton distribution in South San Francisco Bay. Limnol. Oceanogr., 35(2) : 472-478.
- JACQUES (G.) et P. TREGUER, 1986.- Ecosystèmes pélagiques marins. Collection d'Ecologie, 19, Masson, Paris, 243 p.
- LE FEVRE (J.), 1986.- Aspects of the biology of frontal systems. Adv. Mar. Biol., 23 : 163-299.
- LEMOALLE (J.), 1979.- Biomasse et production phytoplanctoniques du lac Tchad 1968-1976. Relations avec les conditions de milieu. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 287 p.

- LEROUX (M.), 1972.- La dynamique des précipitations en Afrique Occidentale. Publications de la direction de l'exploitation météorologique, 23. ASECNA. Dakar,
- LEROUX (M.), 1983.- Le climat de l'Afrique Tropicale. Vol 1 et 2. Champion Ed. Paris.
- MALONE (T.C.). 1986.- Lateral variation in the production and fate of phytoplankton in a partially mixed estuary. Mar. Ecol. Prog. Ser., 32 : 149- 160.
- MICHEL (P.), 1973.- Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Mémoire ORSTOM, 63, Paris.
- MITTELSTAED (E.). 1983.- The upwelling area off Northwest Africa. A description of phenomena related to coastal upwelling. Prog. Oceanogr., 12 : 307-331.
- PORTOLANO (P.), 1986.- Analyse des séries vent-température de la mer en surface: le long des côtes sénégalaises. Océanogr. trop. ORSTOM, 2 1(2) : 205-227.
- REBERT (J.P.), 1983.- Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. Scient. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiarove, 93.
- ROY (C.), 1989.- Fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes du Sénégal. Oceanologica Acta, 12(4) : 361-369).
- SPETH (P.) et A. KÖHNE, 1983.- The relationship between sea surface temperatures and winds off Northwest Africa and Portugal. Océanogr. trop. ORSTOM, 18(1) : 69-80.
- SPIGEL (R.H.), J. IMBERGER et K.N. RAYNER, 1986.- Modeling the diurnal mixed layer. Limnol. Oceanogr., 31(3) : 533-556.
- TEISSON (C.), 1982.- Application de la théorie d'Ekman à l'étude des courants et des remontées d'eaux profondes le long des côtes sénégalaises. Doc. Scient. Cent. Rech. Océanogr., Dakar-Thiarove, 106.

| s | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | N-NE | NE-E | E-SE | SE-S | S-SW | SW-W | W-NW | NW-N |
| n | 42 | 886 | 309 | 69 | 34 | 0 | 4 | 12 | 99 |
| % | 2.9 | 60.9 | 21.2 | 4.7 | 2.3 | - | 0.3 | 0.8 | 6.8 |
| v | 0 | 5.3 | 4.7 | 6.6 | 7.2 | - | 2.8 | 2.6 | 5.6 |
| s | - | 2.41 | 2.05 | 2.50 | 2.37 | - | 2.17 | 1.60 | 1.86 |
| m | - | 1 | 1 | 1 | 2 | - | 1 | 1 | 2 |
| M | - | 17 | 15 | 12 | 12 | - | 6 | 7 | 10 |

tableau 1 : caractéristiques par secteur des vents tri-horaires instantanés enregistrés à Saint-Louis.

avec S : numéro du secteur,
n : nombre d'observations par secteur,
% : fréquence d'occurrence par secteur,
v : vitesse moyenne (m/s) par secteur,
s : écart type sur la vitesse par secteur,
m : vitesse minimale observée par secteur,
M : vitesse maximale observée par secteur.

| p | n | v | p | n | v |
|---|------|------|----|----|------|
| T | 1456 | 6.22 | 8 | 23 | 1.11 |
| 1 | 182 | 2.14 | 9 | 21 | 0.99 |
| 2 | 91 | 1.72 | 10 | 19 | 0.92 |
| 3 | 61 | 1.51 | 12 | 16 | 0.91 |
| 4 | 46 | 1.49 | 15 | 13 | 0.83 |
| 5 | 37 | 1.29 | 20 | 10 | 0.78 |
| 6 | 31 | 1.13 | M | 6 | 0.71 |
| 7 | 26 | 1.01 | | | |

tableau 2 : Evolution de la variance de la série de vent calculée sur les six mois considérés suivant le regroupement des données sur différents pas de temps.

avec p : pas en jour sur lequel le groupement a été effectué,
T : série des instantanés trihoraires (p = 0, 125 jour),
M : série des moyennes mensuelles (p = 28, 30 ou 31 jours),
n : effectif de la série,
v : variance de la série.

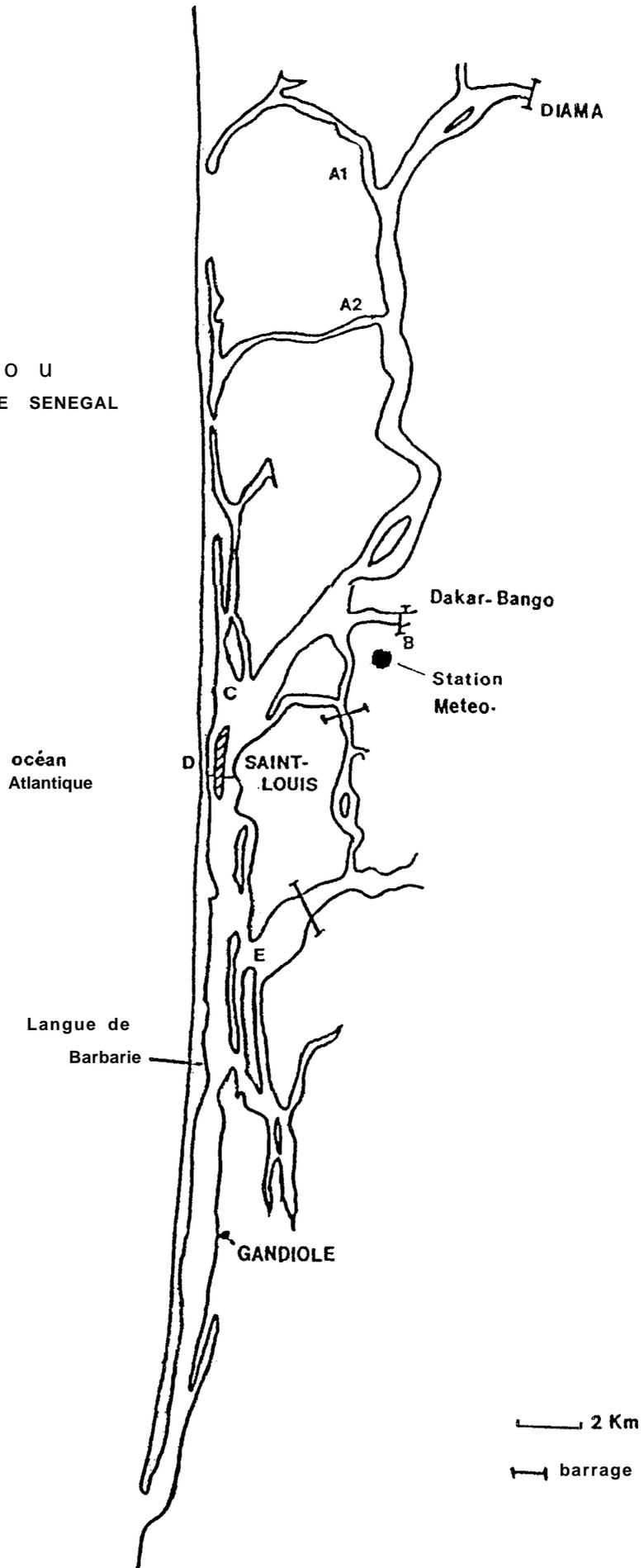
| n° | V | %(1) | %(2) | %(3) | %(4) | %(5) | %(6) | %(7) | %(8) | %(0) |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 3.32 | 64.3 | 10.7 | 0 | 5.4 | 0 | 0 | 1.8 | 3.6 | 14.3 |
| 2 | 3.79 | 57.1 | 25.0 | 5.4 | 1.8 | 0 | 0 | 0 | 8.9 | 1.8 |
| 3 | 4.49 | 39.3 | 35.7 | 12.5 | 5.4 | 0 | 0 | 0 | 5.4 | 1.8 |
| 4 | 4.57 | 35.7 | 37.5 | 5.4 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 19.6 | 0 |
| 5 | 3.74 | 50.0 | 32.1 | 8.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.6 | 5.4 |
| 6 | 4.61 | 58.9 | 32.1 | 1.8 | 1.8 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 3.6 |
| 7 | 4.22 | 41.1 | 53.6 | 5.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 6.64 | 7.1 | 62.5 | 26.8 | 3.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 4.20 | 64.3 | 19.6 | 3.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.9 | 3.6 |
| 10 | 4.74 | 53.6 | 37.5 | 7.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 0 |
| 11 | 4.43 | 21.4 | 48.2 | 10.7 | 12.5 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 5.4 |
| 12 | 4.22 | 66.1 | 12.5 | 7.1 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 8.9 | 3.6 |
| 13 | 5.40 | 19.6 | 39.3 | 21.4 | 5.4 | 0 | 0 | 1.8 | 5.6 | 7.1 |
| 14 | 5.63 | 82.1 | 5.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.1 | 5.4 |
| 15 | 4.81 | 38.6 | 48.2 | 3.6 | 5.4 | 0 | 0 | 1.8 | 1.8 | 10.7 |
| 16 | 4.75 | 55.4 | 12.5 | 3.6 | 12.5 | 0 | 1.8 | 1.8 | 7.1 | 5.4 |
| 17 | 5.15 | 60.7 | 16.1 | 0 | 7.1 | 0 | 3.6 | 0 | 10.7 | 1.8 |
| 18 | 5.75 | 89.3 | 1.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.4 | 3.6 |
| 19 | 7.04 | 94.6 | 1.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.6 | 0 |
| 20 | 5.90 | 91.1 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 0 | 0 | 0 | 3.6 | 0 |
| 21 | 6.32 | 92.6 | 3.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.6 | 0 |
| 22 | 6.27 | 87.5 | 5.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.1 | 0 |
| 23 | 6.31 | 78.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21.4 | 0 |
| 24 | 6.41 | 83.9 | 7.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.9 | 0 |
| 25 | 5.90 | 82.1 | 0 | 1.8 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 8.9 | 5.4 |
| 26 | 5.68 | 75.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 21.4 | 1.8 |

tableau 3 : Vitesse moyenne hebdomadaire du vent et fréquence relative hebdomadaire d'occurrence du vent dans chacun des secteurs .

avec . V : vitesse moyenne hebdomadaire (m/s),

%(i) : fréquence relative par secteur.

Fig. 1 : ESTUAIRE O U
FLEUVE SENEGAL



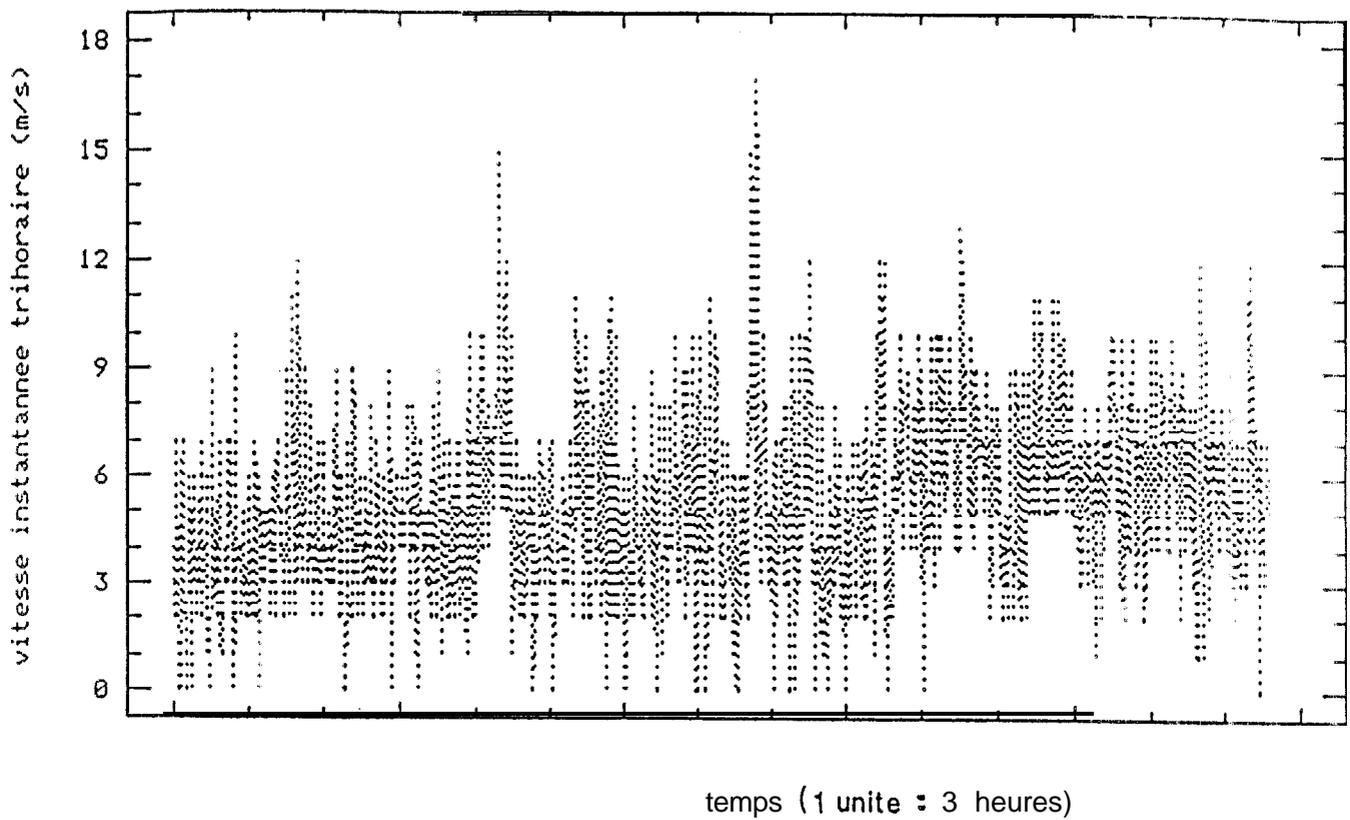


Figure 2 : Evolution temporelle de la vitesse du vent tri-horaire instantané à Saint-Louis de décembre 1989 à mai 1990.

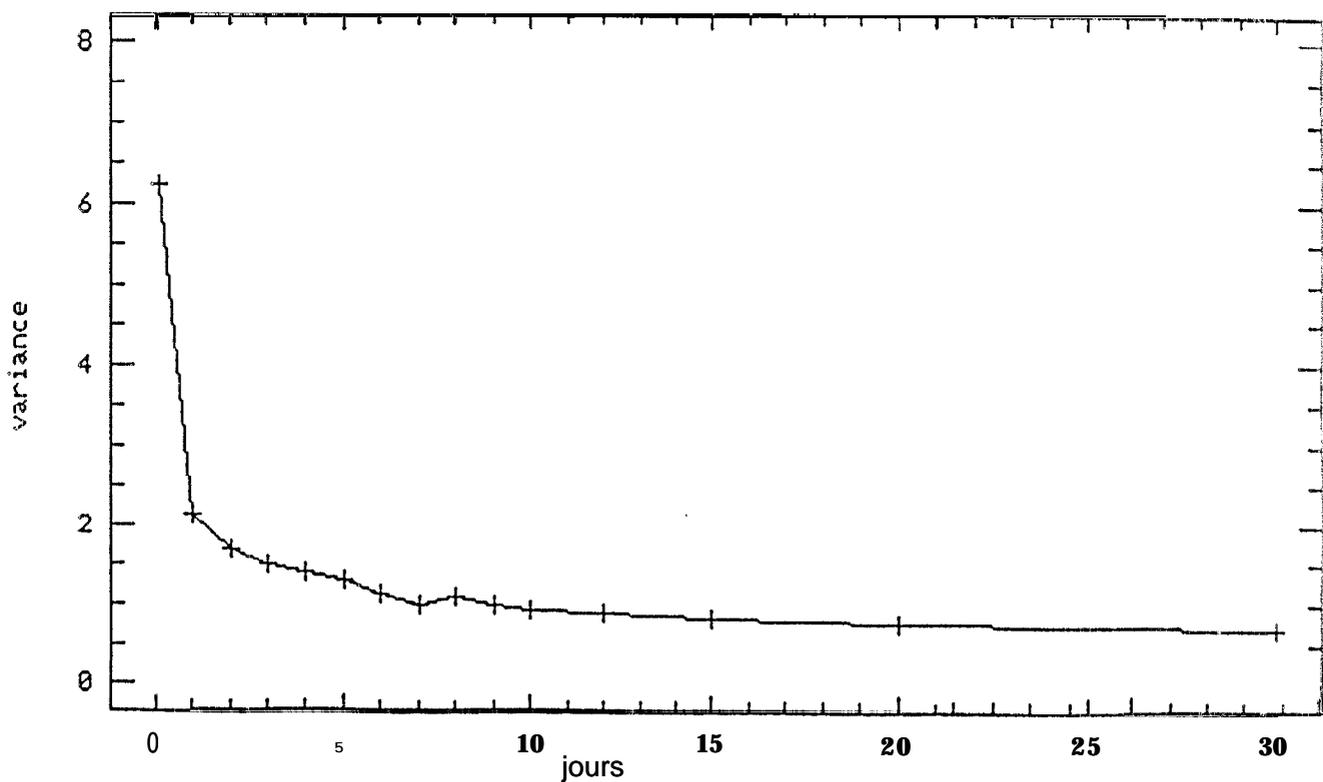


Figure 3 : Evolution de la **variance** dans la série des vitesses du vent en fonction du pas de temps choisi pour le regroupement des données consécutives.

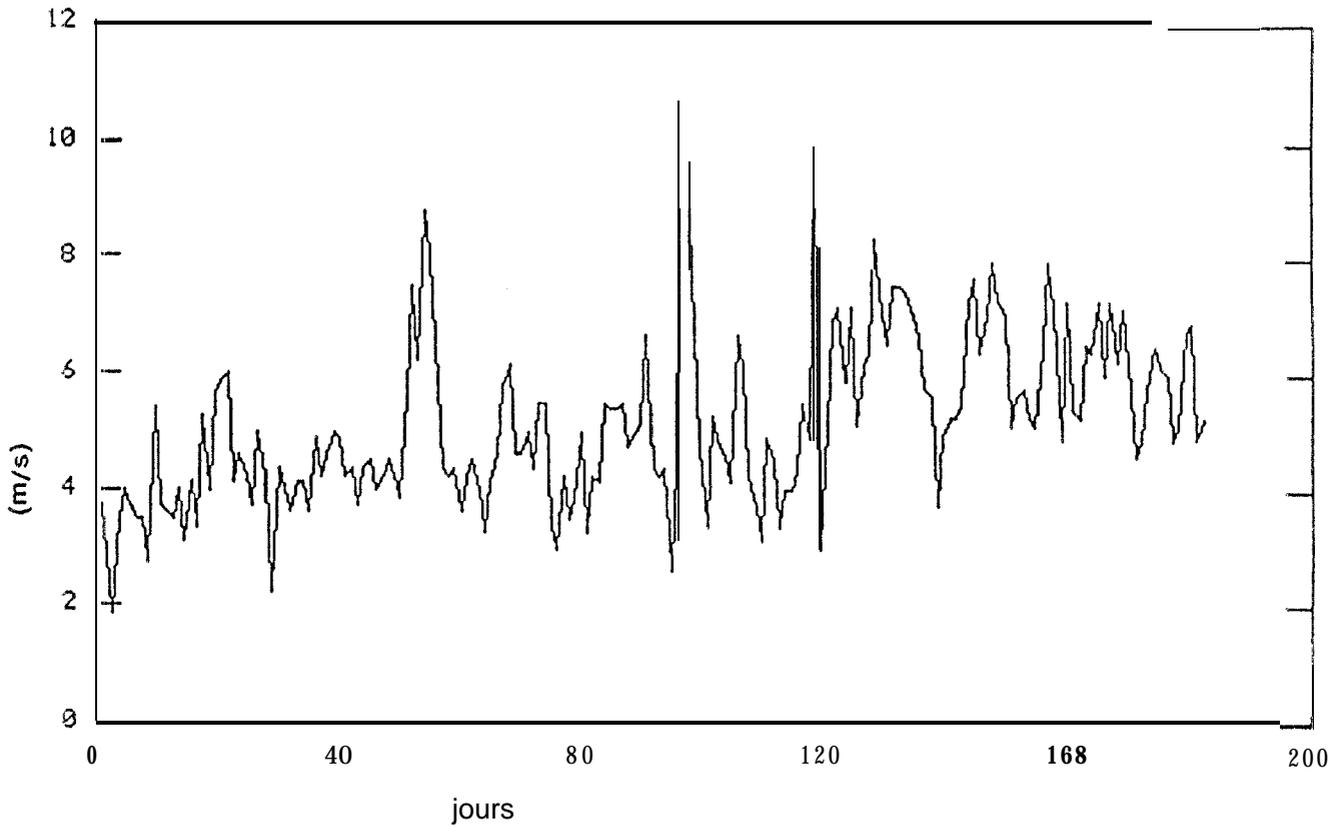


Figure 4 : Evolution temporelle de la vitesse moyenne journalière du vent à Saint-Louis de décembre 1989 à mai 1990.

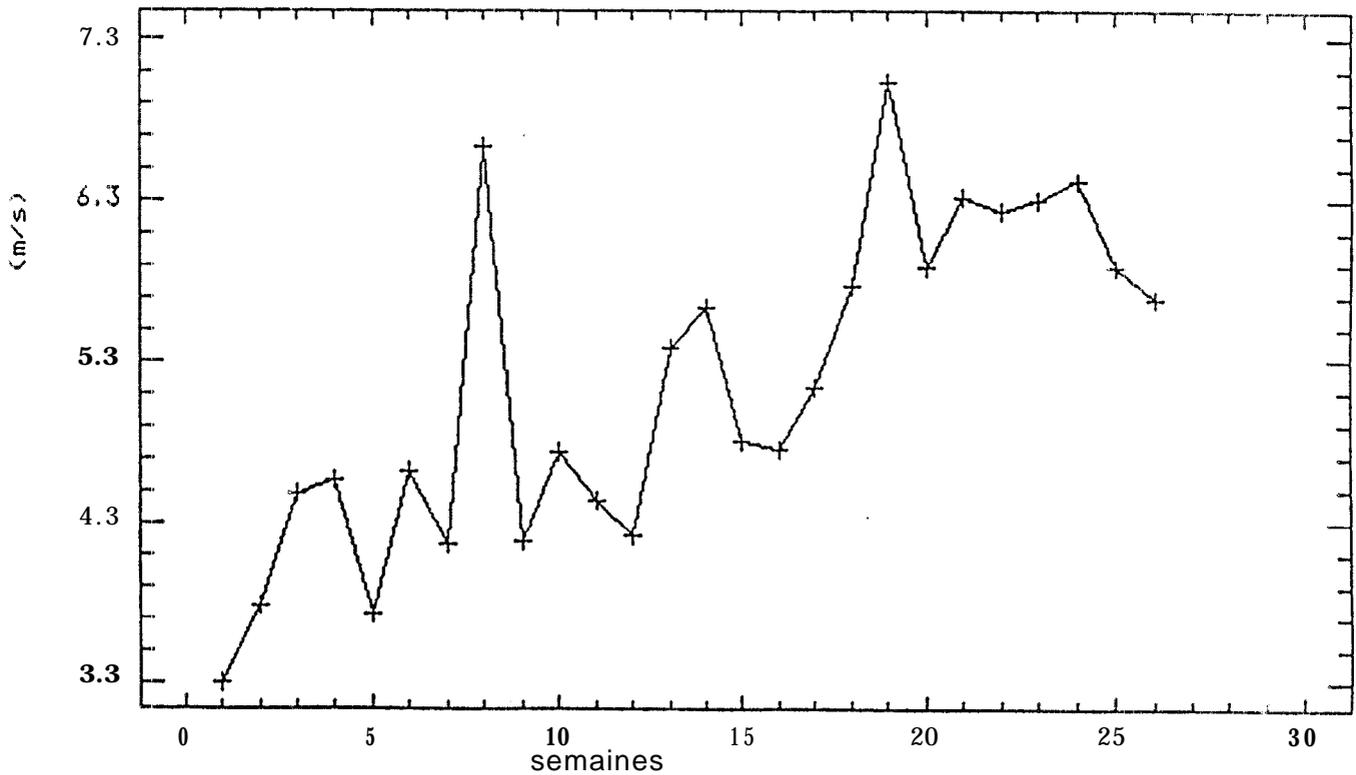


Figure 5a : Evolution temporelle de la vitesse moyenne hebdomadaire du vent à Saint-Louis de décembre 1989 à mai 1990.

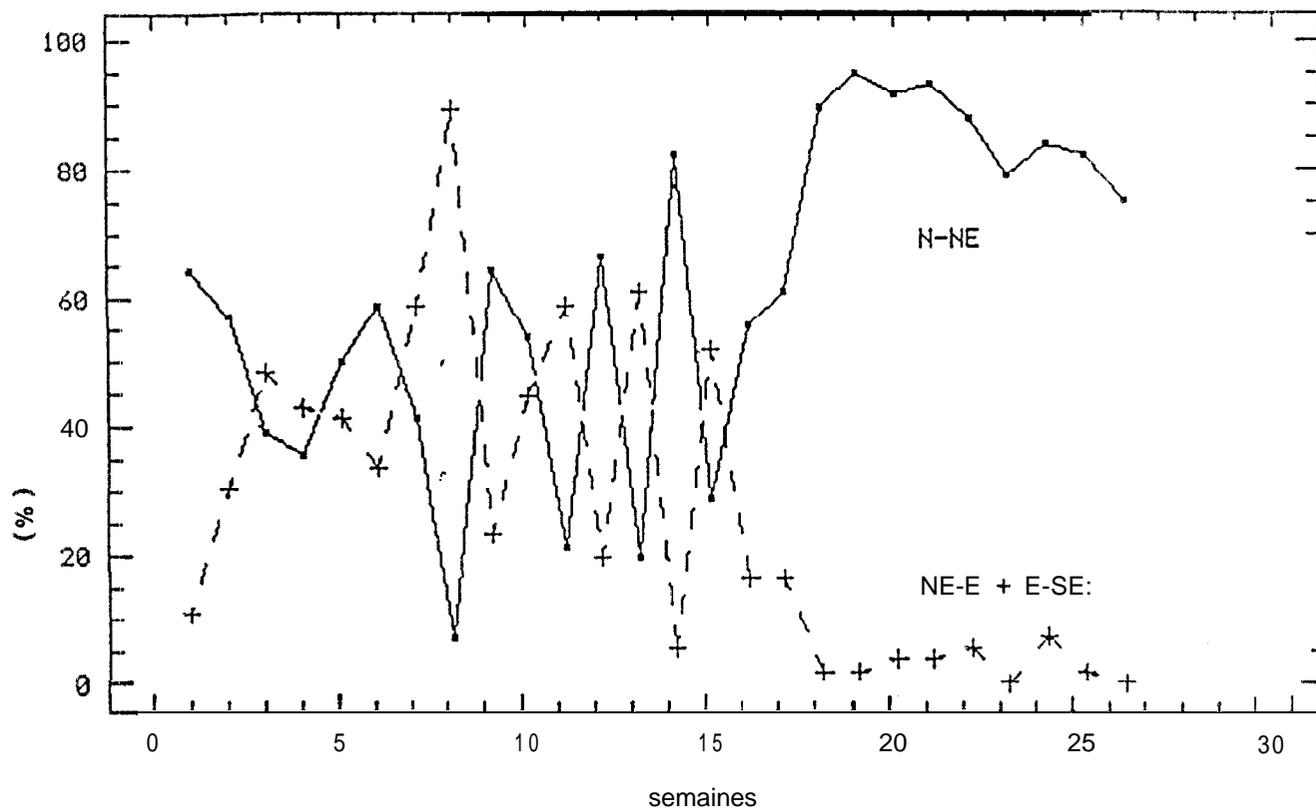


Figure 5b : Fréquences relatives moyennes hebdomadaires d'occurrence du vent à Saint-Louis dans les secteurs N-NE et NE-SE de décembre 1989 à mai 1990.

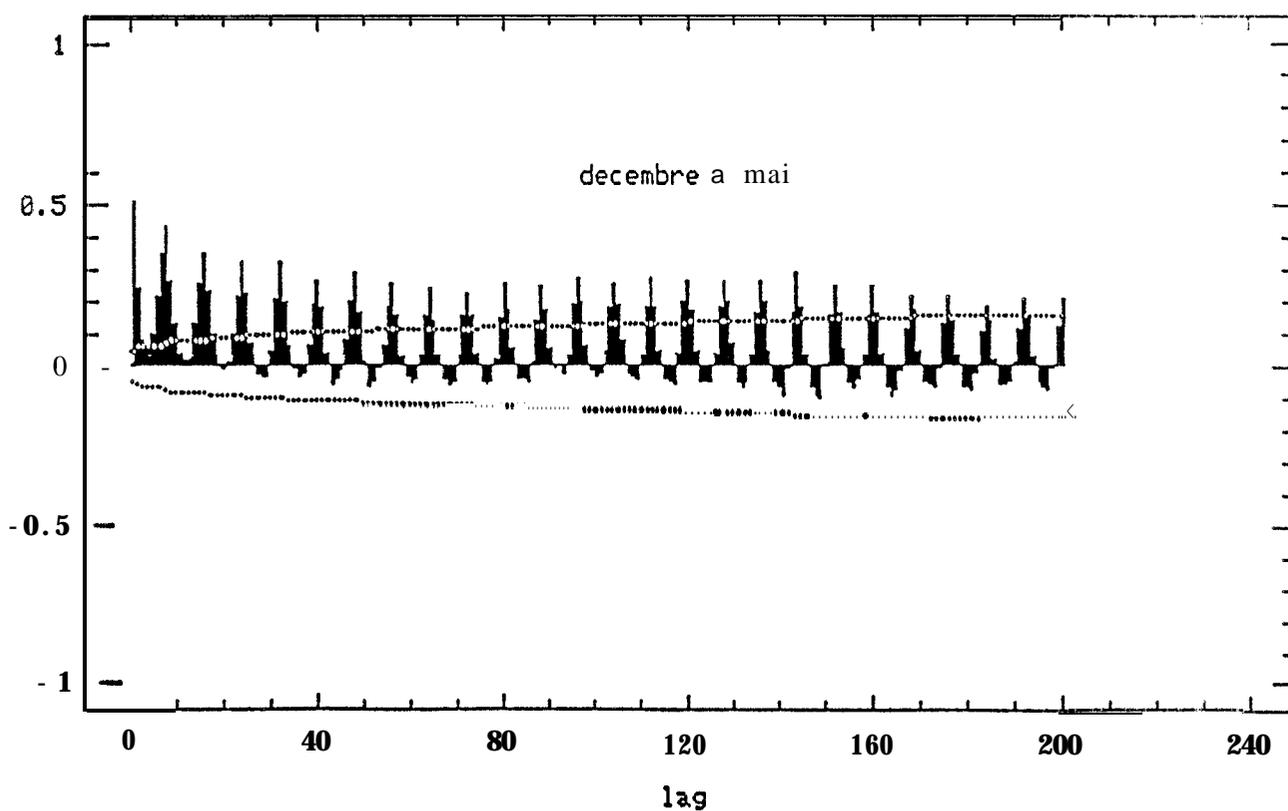


Figure 6 : Auto-corrélogramme de la série des vents tri-horaires instantanés mesurés à Saint-Louis de décembre 1989 à mai 1990.

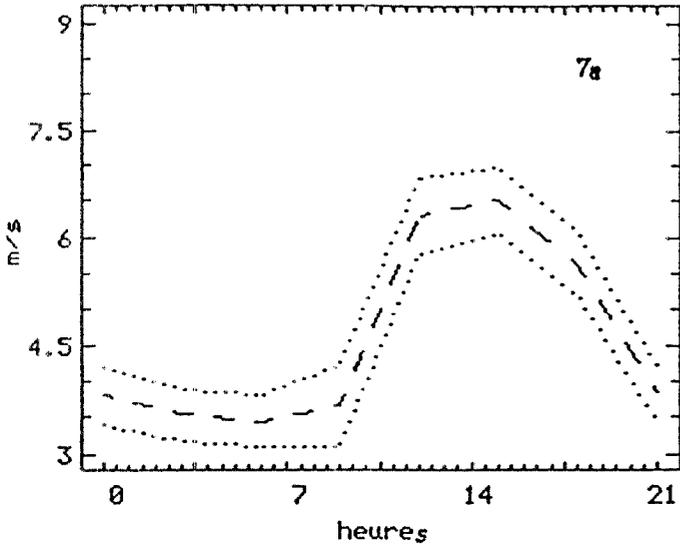


Figure 7a : Evolution au cours de la journée de la vitesse moyenne du vent à Saint-Louis sur la période du 1^{er} décembre 1989 au 15 mars 1990.

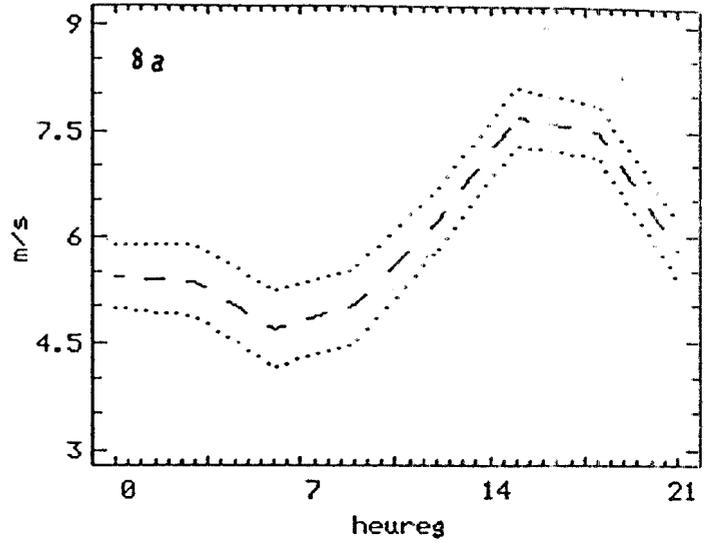


Figure 8a : Evolution au cours de la journée de la vitesse moyenne du vent à Saint-Louis sur la période du 15 mars au 31 mai 1990.

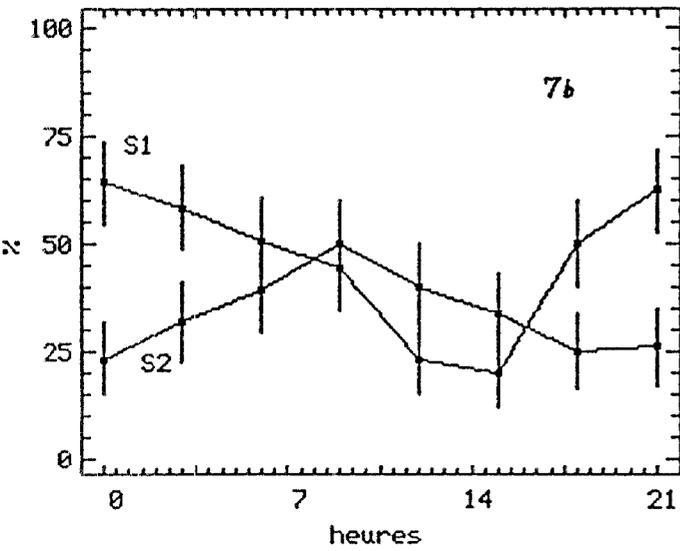


Figure 7b : Evolution au cours de la journée de la fréquence relative d'occurrence du vent à Saint-Louis dans les secteurs N-NE (S1) et NE-E (S2) sur la période du 1^{er} décembre 1989 au 15 mars 1990.

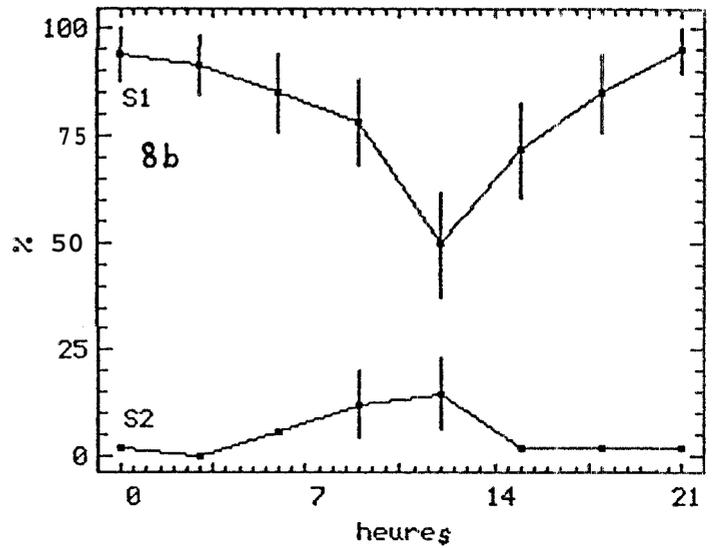


Figure 8b : Evolution au cours de la journée de la fréquence relative d'occurrence du vent à Saint-Louis dans les secteurs N-NE (S1) et NE-E (S2) sur la période du 15 mars au 31 mai 1990.

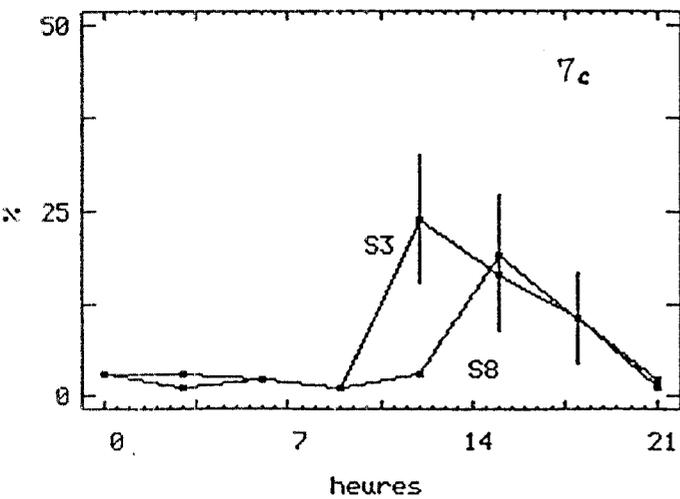


Figure 7c : Evolution au cours de la journée de la fréquence relative d'occurrence du vent à Saint-Louis dans les secteurs E-SE (S3) et NW-N (S8) sur la période du 1^{er} décembre 1989 au 15 mars 1990.

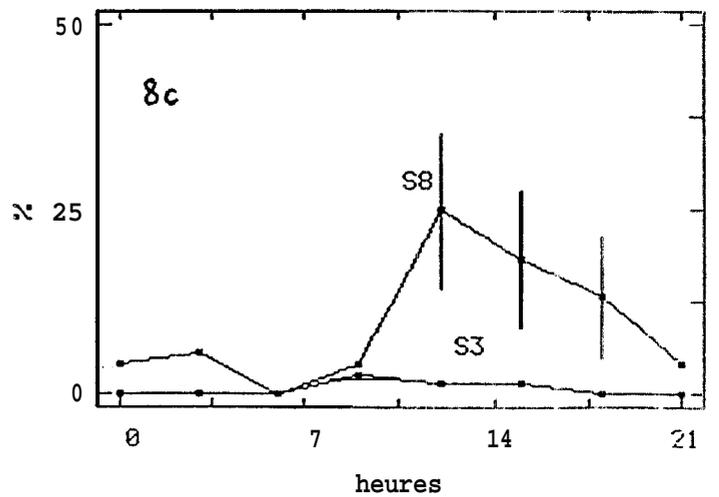


Figure 8c : Evolution au cours de la journée de la fréquence relative d'occurrence du vent à Saint-Louis dans les secteurs E-SE (S3) et NW-N (S8) sur la période du 15 mars au 31 mai 1990.