

Rendements de la pêche sardinière (*Sardina pilchardus*) et conditions de vent, dans le nord du golfe de Gascogne

Anne Littaye-Mariette

IFREMER, rue de l'île d'Yeu, BP 1049, 44037 Nantes Cedex 01, France.

Reçu le 26 octobre 1989; accepté le 11 juin 1990.

Variability of sardine catch rates (*Sardina pilchardus*) and wind conditions in the northern Bay of Biscay.

Littaye-Mariette A. *Aquat. Living Resour.*, 1990, 3, 163-180.

Abstract

In the northern Bay of Biscay (France), catches of Atlantic sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum) fluctuated widely at a time-scale of a few days until the end of the fishery in 1970. These variations were not synchronous between the adjacent Douarnenez, Audierne and Concarneau Bays in southwest Brittany, or between Belle-Ile, Quiberon and Le Croisic or the fishing harbours of Les Sables d'Olonne and Saint-Gilles-Croix-de-Vie further south. Wind speed effects on hydrology and circulation also varied between these areas. Significant relationships between wind speed from one specific component or an index composed with the tide range and the wind speed and catches per unit of effort or CPUE were obtained from regression analyses for all areas except Audierne where hydrodynamics are more complex. In general, CPUE increased with wind speed up to about $5-6 \text{ m.s}^{-1}$ and decreased afterwards. This wind speed has also been associated with thermal stability of the water column and optimal phytoplankton growth. The turbulent mixing induced by a strong wind, above 7 m.s^{-1} , destroys the physical structure and limits the phytoplanktonic biomass. On the contrary, the lack of it, when wind speed is low, with summertime solar heating, get the vertical thermal gradient strengthened and get the nutrients renewal limited in the euphotic layer. The non linearity of the observed relationships fishing/wind is explained by these boundary factors. The site-specific relationships between CPUE and one particular wind component agrees well with the local residual circulation patterns and the associated horizontal and vertical fluctuations in thermal horizontal and vertical structure. Variations in both wind speed and directions explained from 44 to 76% of the variability of the sardine catches at a scale of a few days. The index composed of the tide range and the wind speed was associated with between 25 to 38% of the variability. These relationships could result from the high sensitivity of sardine to its fluctuating environment. They illustrate how unpredictable environmental variations can modulate the fate of commercial fisheries.

Keywords : Sardine fishery, *Sardina pilchardus*, availability, wind-speed, residual circulation, Bay of Biscay.

Résumé

Jusqu'aux années 1970, qui marque l'abandon de cette activité, la pêche estivale de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum) dans le golfe de Gascogne connaissait de fortes variations de rendement à l'échelle de quelques jours. Ces fluctuations affectent différemment chacun des secteurs de pêche soit les baies de Douarnenez, Audierne et Concarneau à la pointe sud-ouest de la Bretagne, ou les zones de Belle-Ile, Quiberon, Le Croisic et les ports des Sables d'Olonne et de Saint Gilles-Croix-de-Vie dans la partie centrale du golfe de Gascogne. A l'échelle de 2 à 4 jours, le vent induit des variations hydrologique et courantologique différentes suivant ces lieux géographiques. En chacune de ces zones de pêche, exceptée celle d'Audierne, des relations significatives ont été obtenues à partir du calcul de régression entre les prises par unité d'effort ou PUE et des composantes de vent spécifiques ou un index conjuguant l'amplitude de la marée et la vitesse du vent. Toutes ces relations

présentent le même profil; les PUE augmentent avec la vitesse du vent jusqu'à un optimum pour 5 à 6 m.s⁻¹; au-dessus de ce seuil, les rendements décroissent en fonction du renforcement du vent jusqu'à ce qu'il y ait arrêt de la pêche. Cette valeur de 5 à 6 m.s⁻¹ correspond également à un optimum pour la stabilité verticale de la couche d'eau superficielle et pour le développement phytoplanctonique. Le mélange turbulent induit dans la colonne d'eau par le vent fort détruit les structures physiques et limite le développement de la biomasse phytoplanctonique; au contraire, l'absence de brassage, par vent faible, dans des conditions estivales d'ensoleillement renforce les gradients thermiques de la mer et restreint le renouvellement de la couche euphotique en sels nutritifs. Ces facteurs limitants peuvent expliquer la non-linéarité des relations pêche/vent. La spécificité locale de ces relations pour une composante particulière du vent est en accord avec les variations des structures thermiques horizontales et verticales induites par la circulation résiduelle. Les fluctuations du vent en vitesse et en direction expliquent 44 à 76 % de la variabilité des captures de sardines à l'échelle de quelques jours. L'indice composé de l'amplitude de la marée et de la vitesse du vent intervient pour 25 à 38 % de cette variabilité pour les zones de Douarnenez et de Quiberon. L'importance de ces facteurs pourrait résulter de la forte sensibilité de la sardine aux variations environnementales et met en évidence l'amplitude de la variabilité d'abondance des captures due à des facteurs non prévisibles.

Mots-clés : Pêche *Sardina pilchardus*, disponibilité, vent, circulation résiduelle, golfe de Gascogne.

INTRODUCTION

Il est admis que les variations d'abondance d'un stock et celles de la disponibilité géographique d'espèces pélagiques sont tributaires en partie des fluctuations climatiques (Sharp et Csirke, 1983). Shepherd *et al.* (1984) soulignent qu'il est important d'identifier et de quantifier les effets de l'environnement pour comprendre les variations observées dans la dynamique des stocks et réajuster les modèles d'abondance. L'influence de l'environnement sur les fluctuations de disponibilité et d'abondance n'est pas une préoccupation récente. Carruthers (1937) a été un des précurseurs dans ce domaine d'étude par l'analyse des variations d'abondance des harengs de 3 ans dans l'est de l'Angleterre (période 1931 à 1937). L'importance de cette classe d'âge dans les pêches dépend de l'intensité et de la direction du courant entraînant les eaux de la Manche vers la mer du Nord, à proximité du lieu de ponte des harengs 3 années auparavant. Mais le développement d'études concernant l'effet de l'environnement sur l'abondance d'une espèce n'a trouvé un intérêt que bien plus tard après la mise au point de modèles de gestion des stocks. Cependant, les nombreux travaux menés ces dernières années se sont intéressés principalement à l'impact de l'environnement sur le recrutement d'espèces commerciales, dans des secteurs géographiques où l'hydrologie est très marquée, comme les zones d'upwelling (Lasker, 1978; Parrish et McCall, 1978; Bakun, 1982; McCall, 1983; Peterman et Bradford, 1984; Cury et Roy, 1989). Peu d'études concernent les effets de l'environnement sur la disponibilité des stocks pélagiques (Binet, 1988). Belvéze et Erzini (1983) ont émis l'hypothèse selon laquelle l'intensité de l'upwelling marocain, les années sèches, serait la cause d'une bonne disponibilité des sardines, à l'échelle saisonnière et favoriserait l'amplitude et la précocité de leur

migration du sud vers le nord du Maroc. De même, la variabilité des prises par unité d'effort (PUE) de petits pélagiques, devant la Côte d'Ivoire, s'explique en partie par les données bi-mensuelles de température de l'eau de surface (Mendelsohn et Cury, 1987).

Dans ce contexte d'un milieu fortement « évolutif », ces exemples soulignent l'importance de la dynamique des processus de l'environnement, notamment l'évolution des structures thermiques verticales et horizontales, sur la disponibilité des poissons. Cette disponibilité d'un stock pélagique à l'échelle saisonnière est l'intégration de relations instantanées et limitées à l'environnement immédiat du poisson. Dans une région tempérée comme le golfe de Gascogne, les fluctuations météorologiques et hydrologiques sont très fugaces et variables; il est difficile d'intégrer sur une saison de pêche leurs impacts sur la disponibilité d'un stock pélagique. Dans cette étude, les relations entre les PUE et une composante de vent selon différentes directions sont recherchées à des micro-échelles spatiale et temporelle. La comparaison des relations pêche/vent entre les huit lieux étudiés et entre treize années permet de souligner la forte sensibilité des poissons aux variations de leur environnement physique et l'importance de l'impact de ces fluctuations sur les rendements de la pêche.

Description de l'environnement (fig. 1)

Les huit ports choisis sont les principaux lieux de l'activité sardinière sur l'ensemble des périodes considérées. Ils se répartissent selon trois régions du nord au sud :

- le Finistère pour les ports de Douarnenez, Audierne et Concarneau qui constituent la limite septentrionale de la pêcherie;
- le Morbihan pour les ports de Belle-Ile, Quiberon et Le Croisic;

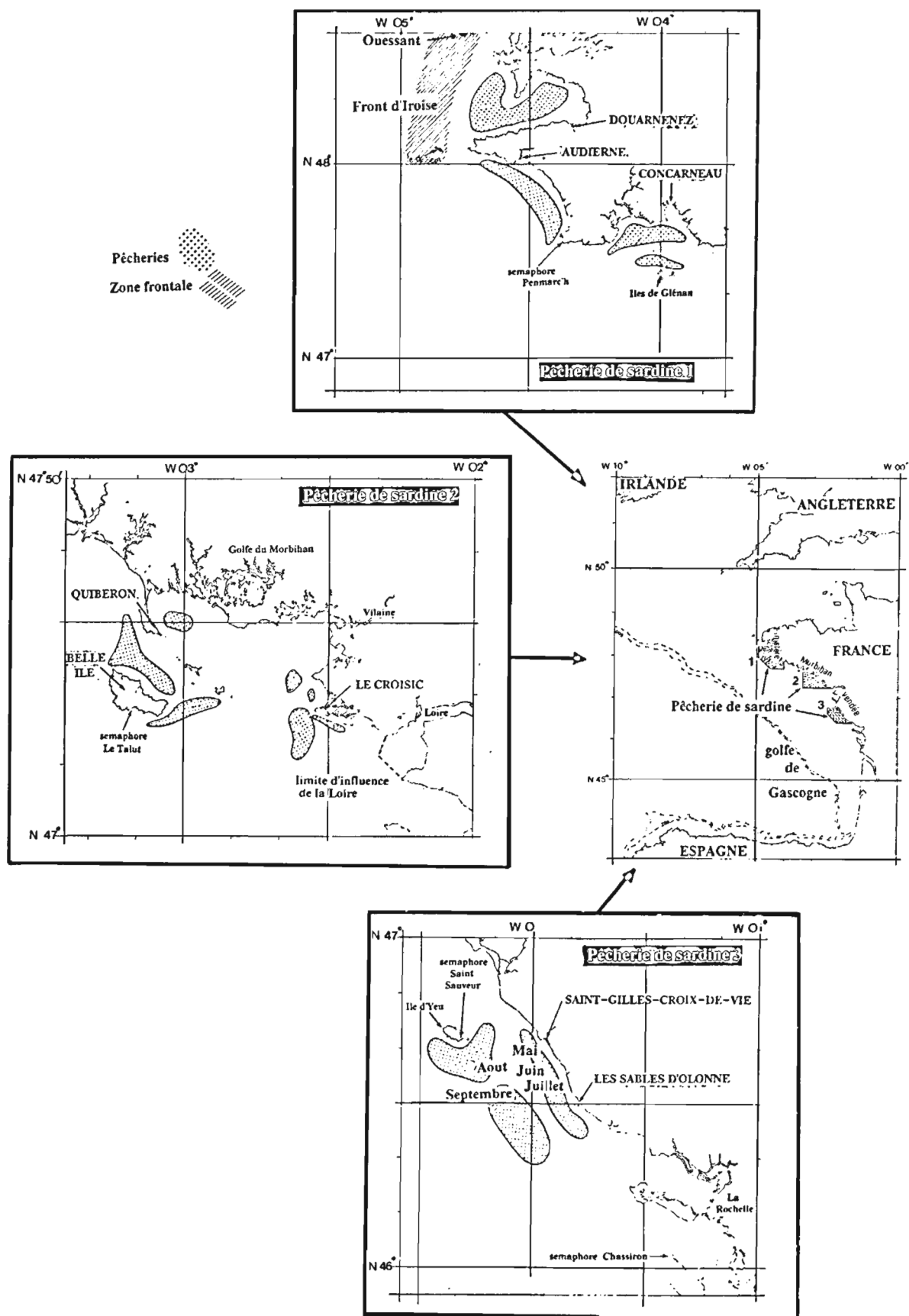


Figure 1. — Cartes de la zone géographique étudiée. Localisation des pêcheries de sardines.

Map of the area considered. Location of the sardine fisheries studied.

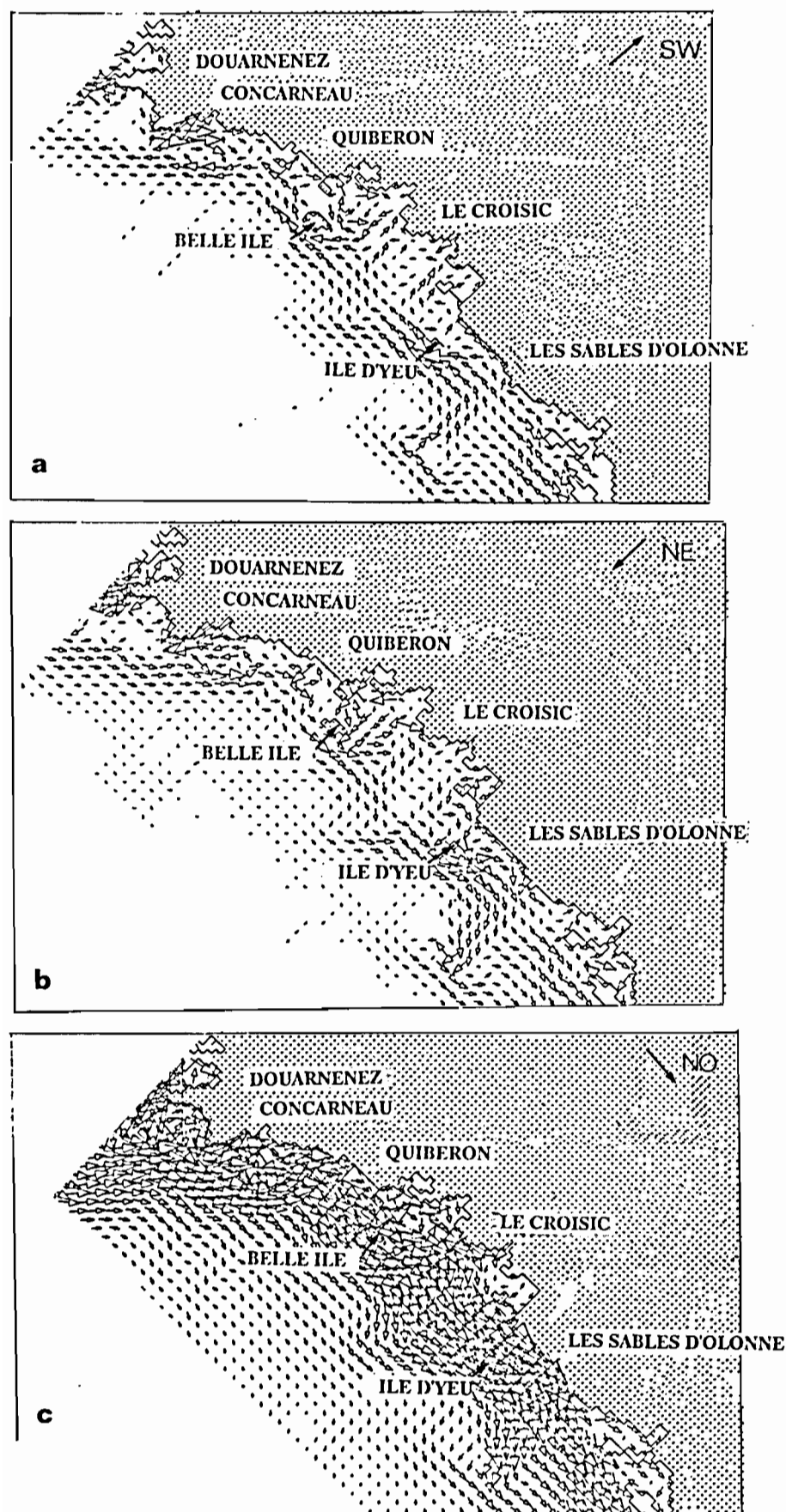


Figure 2. — Cartes de circulations résiduelles de marée et vent (d'après Serpette, 1989). Simulation pour un vent de 10 m.s^{-1} . Seuil de trace des flèches = 1 cm.s^{-1} ; (a) vent de sud-ouest, (b) vent de nord-est, (c) vent de nord-ouest.

Map of the residual circulation of tide and wind (from Serpette, 1989). Simulation for a wind speed about 10 m/s . Drawing threshold = 1 cm/s ; (a) southwest wind, (b) northeast wind, (c) northwest wind.

— la Vendée, au centre de la zone de répartition de l'espèce, pour les ports de Saint-Gilles-Croix-de-Vie et Les Sables d'Olonne.

Les caractéristiques particulières des différentes zones étudiées reflètent la diversité topographique et géomorphologique de la partie nord du golfe de Gascogne. La baie de Douarnenez, fermée et peu profonde, est isolée par les hauts fonds et le chapelet d'îlots de la mer d'Iroise. Les ports d'Audierne, Concarneau, Saint-Gilles-Croix-de-Vie et Les Sables d'Olonne sont au contraire très largement ouverts vers le large, sur une côte orientée nord-ouest/sud-est. Les trois ports de Belle-Ile, Quiberon et Le Croisic sont situés autour d'une baie peu profonde, fermée au large par l'île de Belle-Ile et protégée à l'ouest par la presqu'île de Quiberon. Le Croisic, situé sur la partie est de cette baie, subit à la fois l'influence océanique du golfe de Gascogne et l'influence fluviale de la Loire. L'hydrologie côtière de cette région nord du golfe de Gascogne est très contrastée et fortement évolutive (Le Cann, 1982).

Les courants de marée

A l'échelle de la journée, l'hydrologie est marquée par des courants de marée particulièrement importants; ils atteignent pour une amplitude de marée moyenne, une vitesse de 0,7 nœuds au sud-ouest de la baie d'Audierne, et de 3 nœuds dans le secteur situé entre Belle-Ile et Quiberon (S.H.O.M., 1973).

Circulation résiduelle induite par la marée et le vent

A l'échelle de quelques jours, au-dessus de l'isobathe des 100 m, le vent induit une circulation de la couche d'eau de surface. Après 2 à 3 jours de stabilité du vent (surtout de sa direction) cette circulation peut être propre à chacun des secteurs de vent. Des modèles numériques de marée barotrope mis au point par Serpette (1989) ont permis d'établir des cartes de circulation résiduelle (intégrée pendant un cycle de marée) pour 6 directions de vent et pour une vitesse arbitraire de $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

La comparaison de ces cartes met clairement en évidence la différence de la circulation induite selon les secteurs de vent considérés. Notons les points suivants (fig. 2) :

— Des vents de sud-ouest engendrent un courant côtier, dirigé vers le nord-est, entrant dans la baie de Concarneau. Cette circulation est très localisée à la zone qui s'étend de l'est de la pointe de Penmarc'h à l'est de la baie de Concarneau.

Un courant, plus faible, contourne les côtes sud de Belle-Ile et ouest de l'île d'Yeu vers le nord-ouest. En dehors de ces trois zones, la circulation résiduelle le long des côtes bretonnes et vendéennes est très faible.

— Une circulation semblable mais de sens opposé est induite par un vent de nord-est. Un courant localisé se développe de la baie de Concarneau vers le large en longeant la pointe de Penmarc'h. De même un courant portant au sud-est longe les côtes sud de

l'île d'Yeu et de Belle-Ile, et il est renforcé par un contre-courant de nord-est sur la côte est de ces îles. Sur le reste de la région la circulation est faible à nulle.

— Sur toutes les côtes sud et ouest de la Bretagne et en Vendée, les courants résiduels atteignent une vitesse maximale, à force de vent égale, pour des vents de secteur nord-ouest. Le dessin très rectiligne de la côte et son orientation nord-ouest/sud-est en baie d'Audierne et en Vendée favorisent et renforcent le développement d'une circulation parallèle à la côte. Selon le principe d'Ekman, ces courants, déviés vers le large par la force de Coriolis, induisent une remontée d'eau profonde froide à Penmarc'h, point de discontinuité du trait de côte et tout le long des côtes vendéennes (fig. 3).



Figure 3. — Visualisation des remontées d'eau froide à la côte par vent de secteur nord-ouest : thermographie du satellite NOAA 6 du 26 août 1981 (image communiquée par l'Université de Dundee, U.K.); 1, front de mer d'Iroise; 2, upwelling.

Upwelling in the coastal area with northwest wind conditions: infrared satellite remote sensing of the August 26th 1981 (thermography communicated by the University of Dundee, U.K.). 1, Iroise sea front; 2, upwelling.

— Par vent de nord ou de sud, la circulation, parallèle aux isobathes, est très faible sur la côte sud de Bretagne; elle se développe 15 à 20 milles nautiques au large. Dans la région des Sables d'Olonne et de Saint-Gilles-Croix-de-Vie, par contre, la circulation s'étend jusqu'à la côte. Par vent de nord, des remontées d'eau profonde et froide se produisent dans cette zone.

Évolution thermique de la couche d'eau

Comme dans toute zone tempérée, les caractéristiques thermiques de la couche d'eau évoluent suivant un cycle saisonnier (Fruchaud *et al.*, 1976). Alors qu'en hiver on observe une homogénéité verticale de la colonne d'eau en température, avec le printemps commence la formation d'une structure thermique caractérisée par un gradient marqué, situé entre 10 et 60 m de profondeur.

Ce gradient ou thermocline se forme avec le réchauffement saisonnier de la mer et résulte de la succession de journées ensoleillées, plus nombreuses, et de périodes de vents forts qui propagent en profondeur (40-60 m) la chaleur accumulée en surface (Klein et Coste, 1984). Ce profil subsiste jusqu'en automne et disparaît sous l'effet des forts coups de vent et des pertes thermiques de l'océan. La structure thermique de la couche superficielle redevient alors homogène (Mariette, 1985).

Dans une région de topographie variable, la structure thermique horizontale peut devenir très hétéro-

gène à l'échelle de quelques milles à quelques dizaines de milles tout particulièrement en période estivale. Des zones homogènes sont séparées d'autres stratifiées par des forts gradients horizontaux de température (Mariette et Le Cann, 1985). Un tel système frontal est particulièrement développé en mer d'Iroise par la conjonction d'une bathymétrie accidentée et de courants de marée très forts; une zone frontale, le « front d'Iroise », s'étend entre les deux pôles constitués par les îles d'Ouessant et de Sein (Mariette *et al.*, 1980).

En période estivale, les structures thermiques verticales et horizontales vont varier du profil moyen décrit ci-dessus et ceci particulièrement en zone côtière. La turbulence, créée en surface par le vent et en profondeur par les courants de marée, est le facteur majeur agissant sur la stabilité des structures hydrologiques. Toutes fluctuations du vent ou de l'amplitude de marée (principalement en zone peu profonde) vont les modifier.

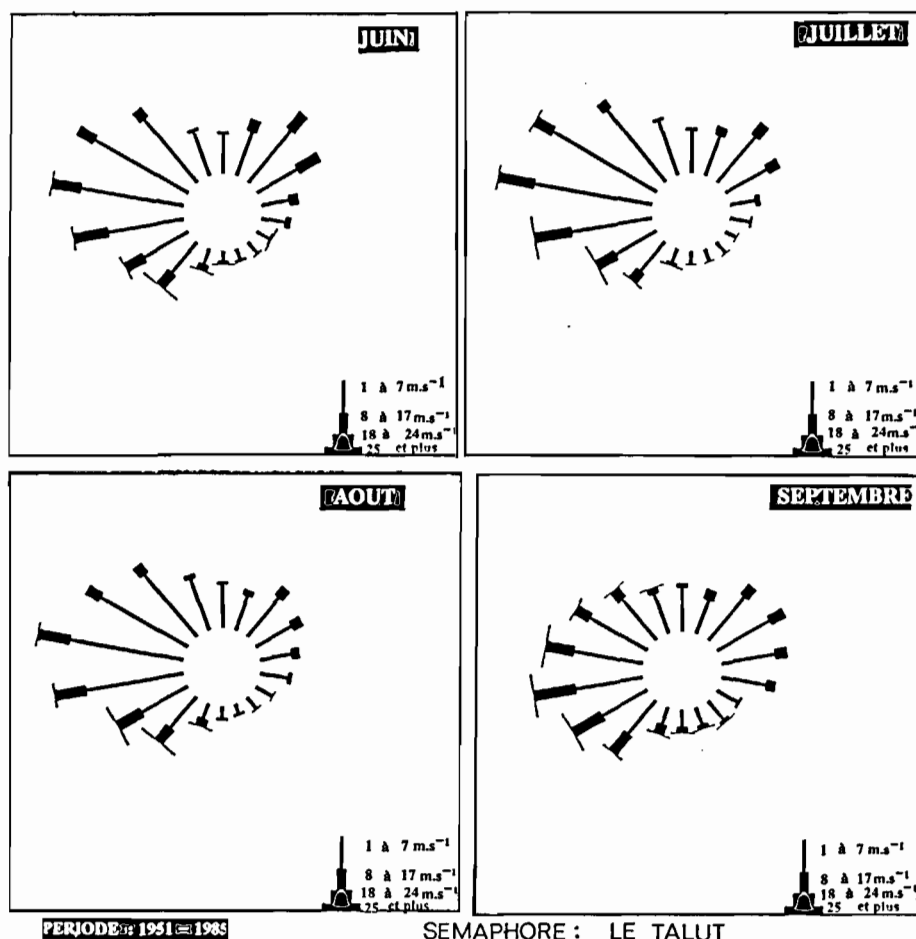


Figure 4. — Climatologie pour les mois de juin à septembre au sémaphore du Talut (d'après Ascencio *et al.*, 1987). Moyenne de fréquence des vents pour la période 1951 à 1980.

Climatology for the months of June to September at the semaphore « Le Talut » (from Ascencio *et al.*, 1987). Frequency average of wind during the period 1951 to 1980.

Climatologie estivale dans le golfe de Gascogne

En été et au début de l'automne, la côte atlantique française bénéficie de l'influence d'un anticyclone océanique centré au nord des Îles Britanniques. Un régime de vent de nord-ouest et de nord-est représente la situation la plus fréquente (fig. 4). Les vents sont faibles et la mer est belle à peu agitée (Ascencio *et al.*, 1987).

Les différents estuaires

De nombreux apports d'eau douce, par ordre d'importance la Loire, la Vilaine et le golfe du Morbihan (fig. 1) sont susceptibles de modifier rapidement les caractéristiques physico-chimiques de l'environnement et de créer des phénomènes hydrologiques tels des fronts thermo-halins (Langlois, 1989). La limite aval de l'influence fluviale de la Loire est décrite par Salomon (1976) par la ligne joignant la pointe de Saint-Gildas au phare du Grand Charpentier et à la pointe de Chemoulin. Cependant, les variations saisonnières et les très fortes fluctuations du débit fluvial engendrent une variation de la limite de salinité. L'été et le début de l'automne sont des périodes d'étiage (faibles débits moyens), l'extension des eaux de la Loire vers le large est minimale et l'influence de la Vilaine et du golfe du Morbihan est très limitée (Cassanet, 1981).

*Description de la pêche sardinière**Historique*

La pêche sardinière a été une activité florissante des côtes bretonne et vendéenne, principalement à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e avec le développement de l'industrie de la conserve (Le Gall, 1904). Après la seconde guerre mondiale, ce métier, déjà quelque peu abandonné au profit d'autres activités, ne connaîtra qu'une reprise précaire avant d'être progressivement abandonné à la fin des années 1960 à la suite de plusieurs mauvaises saisons (Guillou et Njock, 1979). Seuls les ports de La Turballe-Le Croisic et principalement Saint-Gilles-Croix-de-Vie pratiquent encore cette pêche, concurremment à celle de l'anchois et du sprat.

Technique de pêche

Jusqu'en 1969, deux types de pêche sardinière se succédaient pendant l'année au large des côtes bretonne et vendéenne : la pêche de grosses sardines, âgées de 9 ans et plus, dites « sardines de dérive » se pratiquait en hiver et au printemps (Belloc, 1932). L'essentiel du tonnage annuel était débarqué en été et à l'automne, période pendant laquelle se déroulait la pêche de jeunes sardines, dites « sardines de rogue » en référence à la technique employée pour les pêcher. Ces jeunes sardines constituent des bancs importants et apparaissent au début de l'été sur les côtes vendéenne puis bretonne (Desbrosses, 1933).

La pêche d'été, exclusivement étudiée dans ce travail, se pratiquait à la côte, 5 à 10 milles nautiques au large, au-dessus de fonds de 20 à 30 m, avec des filets droits coulés sous la surface, remplacés au fil des ans par des sennes tournantes; jusqu'au début des années 1960, les pêcheurs déversaient de l'appât — ou rogue — à la surface pour faire « monter » la sardine. Dans les années 1920, la pêche s'effectuait à partir de côtre à voile; puis ces embarcations furent progressivement remplacées par des voiliers à moteur auxiliaire vers 1930, puis dans les dernières années, par des petits chalutiers polyvalents.

Évolution saisonnière de la pêche

La saison commence fin mai pour les ports les plus au sud, aux Sables d'Olonne et à Saint-Gilles-Croix-de-Vie, puis s'étend vers le nord; les premiers bancs de sardines ne sont repérés en baies d'Audierne et de Douarnenez que début juillet (Le Gall, 1930; Belloc, 1932). La pêche prend fin vers le début de novembre quand les conditions météorologiques commencent à se dégrader.

La taille des poissons capturés évolue au cours de la saison. Au mois d'août, les petites sardines immatures (10 cm environ) apparaissent massivement dans la pêcherie constituée jusqu'alors de sardines de 15 à 18 cm. En plus de ces bancs importants de jeunes individus, des grosses sardines dites de « dérive » restent présentes dans les eaux côtières et ceci particulièrement à Douarnenez et Concarneau.

*Données**Données de pêche*

Les données de pêche utilisées dans cette étude, sont les débarquements quotidiens de sardines dans chacun des ports. Cette activité se pratiquant en zone très côtière, les débarquements dans un port donné sont considérés comme l'image des captures faites sur une zone environnant ce point de débarquement. Pour étudier la variabilité des rendements, les PUE (prises par unité d'effort) sont utilisées comme indice de rendement de la pêche. Elles sont exprimées en nombre de sardines par bateau et par jour pour la période avant la guerre de 1939-1940, et en kilogrammes par bateau et par jour pour les années 1961 à 1969. Les moyennes de PUE sont effectuées sur 2 à 3 jours selon la stabilité des rendements la pêche; elles subissent une transformation logarithmique pour atténuer l'écart-type des valeurs maximales dû à la variabilité interannuelle du niveau d'abondance du stock. Les données utilisées proviennent des publications annuelles de la *Pêche Maritime* pour les années avant guerre, de 1924 à 1929 et du COFICA (Comptoir français de l'industrie de la conserve alimentaire) pour les années ultérieures.

Données météorologiques

Les mesures de vent proviennent de différents sémaphores côtiers de la Météorologie Nationale. Ces sta-

Tableau 1. — Variabilité des rendements de la pêche pour différents ports.

Catch variability of sardines for different fishing harbours. Time-scale: 2 days (C.P.U.E. no sardines/fishing boat/day). C.P.U.E.: kg/fishing boat/day. Time scale: 1 year (C.P.U.E. tonnes/fishing boat/year).

Port	Période	Moyenne	Écart-type
Pas de temps = 2 jours (PUE nombre sardines/bateau/jour)			
Douarnenez	1922-1930	4 291	2 876
Audierne	1922-1930	4 540	3 415
Concarneau	1924-1929	2 901	2 665
Belle-Ile	1926-1929	6 161	3 493
Quiberon	1926-1929	7 869	3 617
(PUE en kg/bateau/jour)			
Belle-Ile	1961-1967	691	404
Quiberon	1961-1967	865	446
Le Croisic	1961-1967	881	445
Saint-Gilles-Croix-de-Vie	1961-1967	652	403
Les Sables d'Olonne	1961-1967	834	471
Pas de temps = année (PUE en tonnes/bateau/an)			
Douarnenez	1922-1931	21,29	9,79
Audierne	1922-1931	14,34	7,45
Concarneau	1922-1931	11,69	6,35
Quiberon + Belle-Ile	1922-1928	34	24,54
Le Croisic	1922-1938	44,79	66,04
Les Sables	1922-1938	9,5	5,26
Quiberon + Belle-Ile	1947-1967	92,67	38,57
Le Croisic + La Turballe	1947-1967	55,85	29,09
Saint-Gilles-Croix-de-Vie + Les Sables	1947-1967	34,3	17,9

tions ont été choisies en fonction de l'existence d'enregistrements de mesures de vent au cours des périodes étudiées et en fonction de leur position géographique la mieux exposée aux variations météorologiques et la plus proche des zones de pêche. Les données de cinq sémaphores ont été traitées :

compte de la dynamique des processus de l'environnement. Les composantes de ce vent moyen sur 4 jours ont été calculées pour huit à 10 directions selon les lieux. De plus, le module du vent (ou vitesse réelle sans projection sur une direction) a été extrait pour les sémaphores de Penmarc'h et du Talut.

Région	Sémaphore	Position géographique		Années
		Latitude	Longitude	
Sud et sud-ouest de la Bretagne	Penmarc'h (Penmarc'h)	47°47'50"N	04°22'29"W	1921-1938
				1961-1969
Morbihan	Beg Melen (Groix)	47°39'10"N	03°30'07"W	1921-1938
	Le Talut (Belle-Ile)	47°17'40"N	03°13'10"W	1961-1969
Vendée	Chassiron (Ile d'Oléron)	46°03'N	01°25'W	1921-1937
	Saint-Sauveur (Ile d'Yeu)	46°41'N	02°20'W	1961-1969

La vitesse du vent (sur l'échelle Beaufort jusqu'en 1938, puis depuis en m.s^{-1}) et la direction (en degré) sont enregistrées trois fois par jour jusqu'en 1938, puis huit fois par jour depuis 1948. Ces mesures ont été projetées sur les directions nord/sud et ouest/est pour calculer une moyenne sur 4 jours, soient les 2 jours de la pêche, ce qui correspond aux conditions momentanées, et les 2 jours précédents pour tenir

Les vitesses de vent selon une composante ayant une valeur inférieure à 1 m.s^{-1} ont été éliminées dans le calcul des relations pêche/vent. Ces valeurs très faibles correspondent à un vent de direction perpendiculaire à la composante considérée ou à des conditions de vent instable, ce qui annule la moyenne calculée sur 4 jours ou encore elles correspondent à un vent nul. Dans le premier cas, l'information n'est

pas perdue par la suppression de ces faibles valeurs mais reportée sur des couples de points; l'impact de ce vent sur la pêche est évalué par la relation entre les autres composantes du vent et les PUE. Dans le second cas, les conditions étant instables, toute relation avec la pêche, si elle existe, n'est pas interprétable dans l'état actuel des connaissances sur l'effet du vent sur la couche d'eau ou sur la circulation résiduelle.

Pour les zones de Quiberon et de Douarnenez, un second facteur physique, l'amplitude de la marée, est utilisé en complément du vent. Ces deux baies étant peu profondes et les courants de marée y étant localement forts, l'évolution des structures hydrologiques est particulièrement dépendante du second facteur. L'influence seule du vent ou de la marée semble difficile à mettre en évidence; pour cette raison, un indice empirique, additionnant ces deux facteurs vent et marée, est défini. L'amplitude de la marée, exprimée par un coefficient de marée de 20 à 120, est calculée et publiée dans des tables par le Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM). Un indice « VENMAR » est calculé de la façon suivante pour combiner les effets de la marée et du vent : $\text{VENMAR} = \text{vitesse du vent (ou composante)} + (\text{coefficient de marée}/10)$.

Le coefficient de marée est divisé par 10 pour être ramené à une valeur du même ordre de grandeur que la vitesse du vent. L'utilisation d'un modèle multiplicatif, qui aurait évité ce problème d'échelle de valeur entre ces deux facteurs, accentue la dispersion des points selon l'axe des x et ne permet plus une bonne visualisation de la relation.

Méthode

Recherche d'une relation

L'existence et la nature de la relation entre la transformée logarithmique de la moyenne des PUE (au temps t et $t+1$) et la moyenne du vent (au temps $t-2$, $t-1$, t , $t+1$) sont recherchées par le calcul de régression polynomiale de degré 3. Un coefficient de corrélation multiple « R » et un test sur la validité du modèle à expliquer la variabilité des PUE sont associés à la définition de ces régressions. Un ensemble de 8 à 10 composantes du vent le module, sont testés pour chacune des huit zones géographiques, Douarnenez, Audierne, Concarneau, Belle-Ile, Quiberon, Le Croisic, Saint-Gilles-Croix-de-Vie et Les Sables d'Olonne. L'indice VENMAR est testée sur les pêches de Douarnenez et de Quiberon. Le test statistique utilisé pour quantifier l'adéquation du modèle calculé aux observations est le F de Fisher-Snedecor (Snedecor et Cochran, 1984). Dans la mesure de la disponibilité des données, deux groupes d'années ont été analysés, les années 1924 à 1929 et 1961 à 1969. L'effort de pêche a considérablement évolué entre ces deux périodes.

Par conséquent, la comparaison des analyses entre ces années permet d'appréhender les variations pos-

sibles de vulnérabilité de la sardine et d'infirmier ou de confirmer la validité des relations obtenues.

Choix d'un polynôme de degré 3

Un polynôme de degré 3 est choisi pour décrire le profil en « dôme » des relations PUE/vent. Ce schéma empirique rappelle l'équation intégrée de l'énergie cinétique turbulente modélisant les processus physiques pris en compte dans les modèles intégraux (Niiler et Kraus, 1977). Ce modèle déterministe exprime l'équilibre entre d'une part la production-dissipation d'énergie turbulente correspondant à l'agitation turbulente des vagues, créée par le vent, à la surface (terme de degré 3), au cisaillement de courant au bas de la couche homogène dû à des gradients de densité, à la marée (terme du second degré), au refroidissement dû aux pertes à la surface (terme de degré 1), et d'autre part les consommations d'énergie (terme de degré 1) par les réchauffements, dus aux pertes à la surface et au rayonnement solaire, et par le refroidissement au bas de la couche homogène lors d'un approfondissement. L'introduction d'un terme constant dans le schéma choisi correspond à un niveau de capture de base. La valeur et le signe des coefficients des polynômes calculés ne seront pas discutés car il s'agit d'un schéma empirique et non d'un modèle déterministe.

Résultats

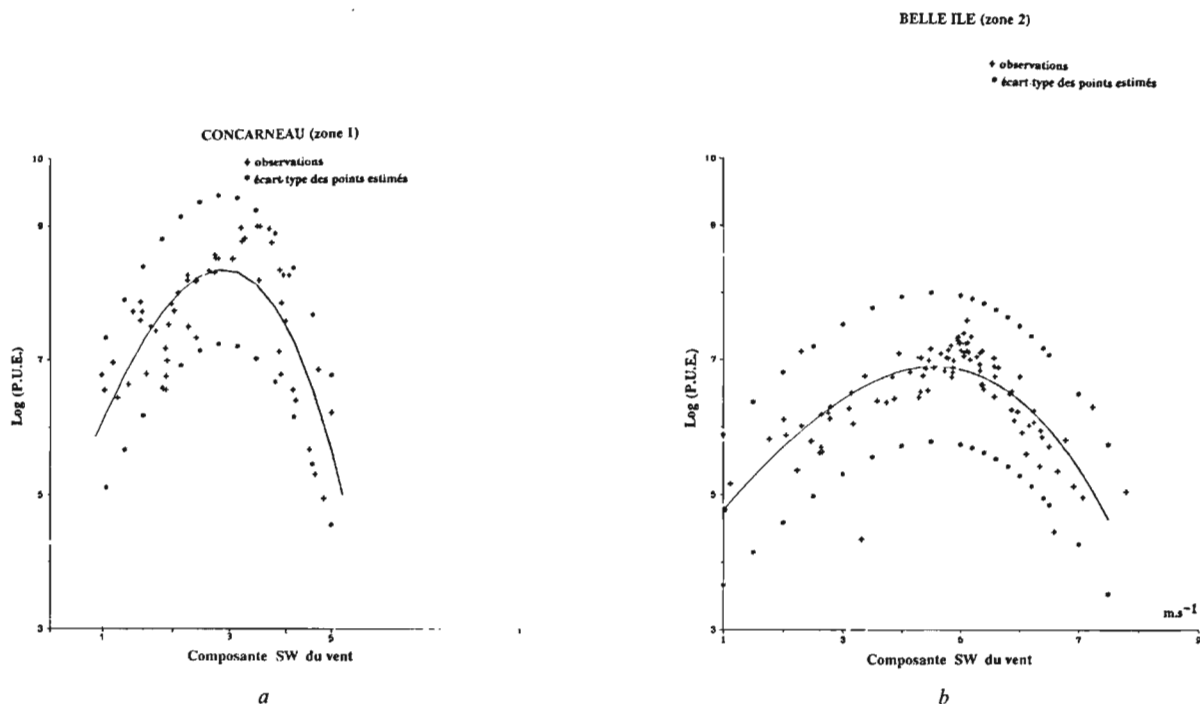
Nature des relations suivant les zones géographiques

Une ou deux relations ont été trouvées entre une composante du vent ou son module et les PUE pour chacune des zones géographiques (tableau 2 et 3). Pour Concarneau, Belle-Ile, Le Croisic, Les Sables d'Olonne et Saint-Gilles-Croix-de-Vie, les PUE sont plus particulièrement liées à l'intensité de la composante sud-ouest du vent (fig. 5a, b, c, d, e, f) ou ouest-sud-ouest (fig. 6a, b).

Une seconde composante du vent, celle est-nord-est ou nord-est a également un impact sur les rendements de la pêche autour du Croisic (fig. 7a, b). Ces relations sont toutes significatives avec une probabilité d'erreur inférieure à 2,5 %.

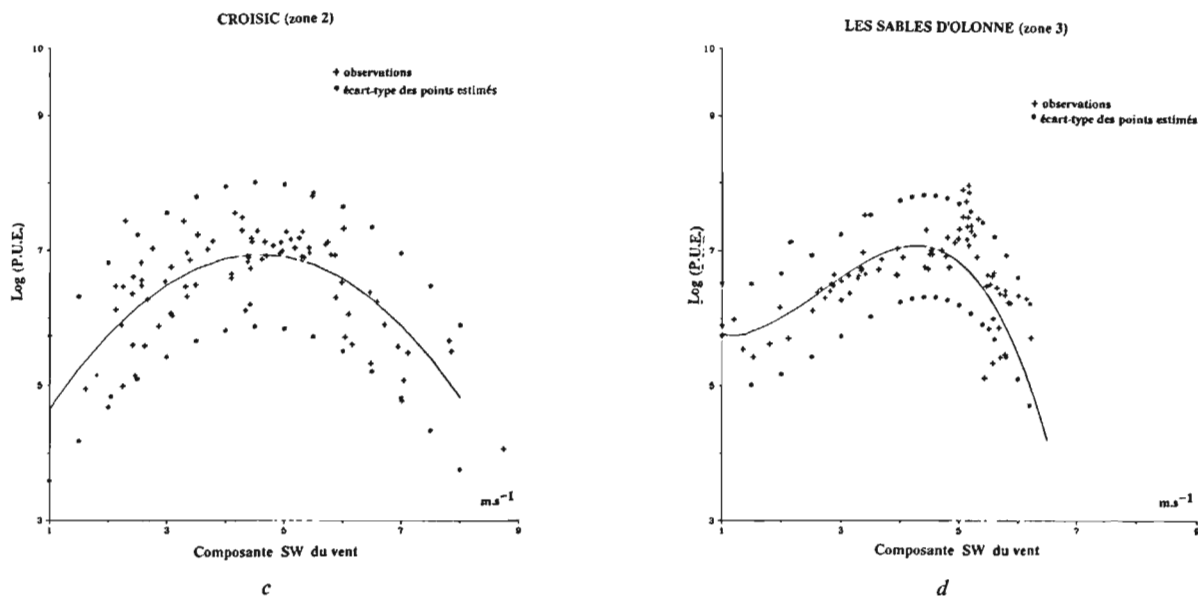
Pour Quiberon et Douarnenez, l'impact de l'environnement sur la disponibilité de la sardine semble plus complexe. Les PUE sont fonction de l'effet combiné de l'amplitude de la marée et des composantes sud ou sud-ouest du vent à Quiberon (fig. 8a, c) et de la marée et du module du vent pour Douarnenez (fig. 8b). Ces relations sont significatives avec un risque d'erreur inférieur à 5 %. Cependant, elles n'expliquent que 40 % de la variabilité, ce qui est très inférieur aux résultats obtenus pour les autres zones géographiques.

Pour Audierne, la forte dispersion des points rend la définition d'une relation particulière avec une composante du vent très spéculative. Pour cette raison les résultats ne sont pas reportés.



(a) Concarneau : relation entre les PUE et la composante sud-ouest du vent à Penmarc'h, pour les années 1924 à 1929.

(a) Concarneau: relationship between CPUE and the southwest component of the wind at « Penmarc'h », for the period 1924 to 1929.



(c) Le Croisic : relation entre les PUE et la composante sud-ouest du vent au Talut (Belle-Ile), pour les années 1961 à 1969.

(c) Le Croisic: relationship between CPUE of the southwest component of the wind at « Le Talut », for the period 1961 to 1969.

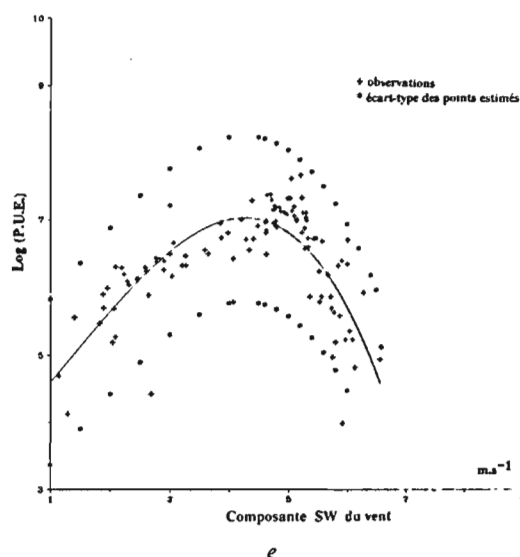
(d) Les Sables d'Olonne : relation entre les PUE et la composante sud-ouest du vent à Saint-Sauveur (île d'Yeu), pour les années 1961 à 1969.

(d) Les Sables d'Olonnes: relationship between CPUE of the southwest component of the wind at « Saint-Sauveur (île d'Yeu) », for the period 1961 to 1969.

Figure 5. — Relations entre les PUE de sardines et la composante sud-ouest du vent PUE : moyenne des rendements de la pêche sur 2 jours. Vent : moyenne du module selon une composante du vent sur 4 jours.

Relationships between CPUE of sardine and a component of the wind. CPUE: average of the catch rates over 2 days. Wind: average of the speed of one component over 4 days.

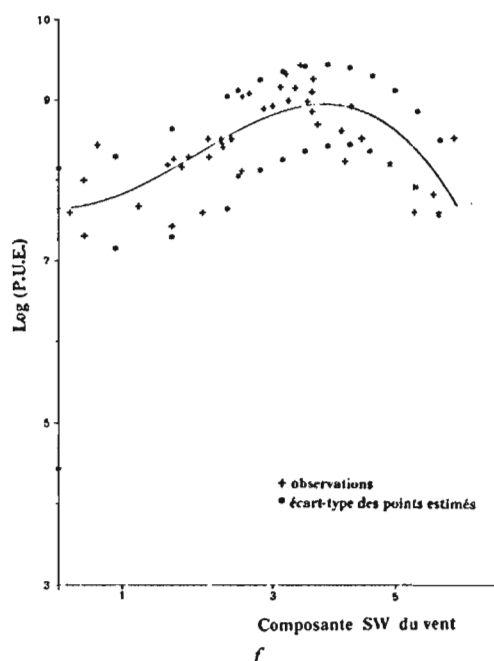
SAINT-GILLES-CROIX-DE-VIE (zone 3)



(e) Saint-Gilles-Croix-de-Vie : relation entre les PUE et la composante sud-ouest du vent à Saint-Sauveur (île d'Yeu), pour les années 1961 à 1969.

(e) Saint-Gilles-Croix-de-Vie: relationship between CPUE of the southwest component of the wind at "Saint-Sauveur (île d'Yeu), for the period 1961 to 1969.

BELLE ILE (zone 2)



(f) Belle-Ile : relation entre les PUE et la composante sud-ouest du vent à Beg-Melen, pour les années 1926 à 1929.

(f) Belle-Ile: relationship between CPUE of the southwest component of the wind at (île d'Yeu), for the period 1926 to 1929.

Figure 5. — (suite). Relations entre les PUE de sardines et la composante sud-ouest du vent PUE : moyenne des rendements de la pêche sur 2 jours. Vent : moyenne du module selon une composante du vent sur 4 jours.

Relationships between CPUE of sardine and a component of the wind. CPUE: average of the catch rates over 2 days. Wind: average of the speed of one component over 4 days.

Profil des relations pêche/vent et pêche/vent et marée

Les différentes relations trouvées entre les paramètres « vent » (ou « vent et marée ») et « PUE » ont le même profil en « dôme » asymétrique (fig. 5, 6, 7). Le maximum de rendement de la pêche se situe à une vitesse de vent de 5 m.s^{-1} ou à un indice VENMAR=11. Des vents trop faibles (inférieurs à 2 m.s^{-1}) ou trop forts (supérieurs à 7 m.s^{-1}) ont pour conséquences des captures moins abondantes.

L'existence de deux facteurs limitants donne un caractère non linéaire à ces relations.

Définition des régressions polynomiales

Les équations polynomiales des différentes régressions calculées sont définies dans le tableau 2 suivant le modèle :

$$\text{PUE} = ax + bx^2 + cx^3 + d.$$

Discussion

Signification d'une vitesse de vent de 5 m.s^{-1}

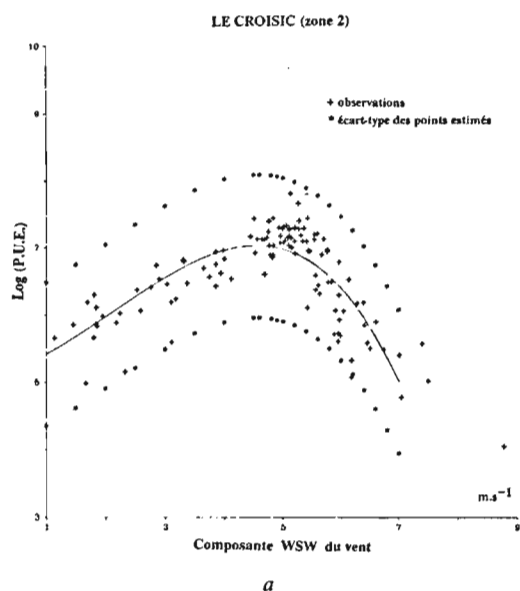
La valeur d'une vitesse de vent de 5 m.s^{-1} correspond selon Kullenberg (1976 et 1978) au seuil à partir

duquel les frottements dus au vent commencent à exercer un effet de mélange mesurable dans la couche superficielle homogène en milieu peu profond. Pond et Pickard (1978) estiment qu'à partir de 7 m.s^{-1} , le vent génère de la turbulence, le mélange dépasse donc la couche superficielle pour s'étendre plus en profondeur. Il y a donc une modification du profil thermique vertical stratifié en période estivale. Ces valeurs sont théoriques et calculées pour des impacts instantanés; elles doivent être traitées avec prudence quand on les compare à des cas concrets, comme dans cette étude.

Dans la région d'étude, d'après les modèles de simulation (Serpette, 1989), un vent de 10 m.s^{-1} (valeur arbitraire choisie élevée pour obtenir une réponse marquée) génère des courants résiduels d'ordre suivant :

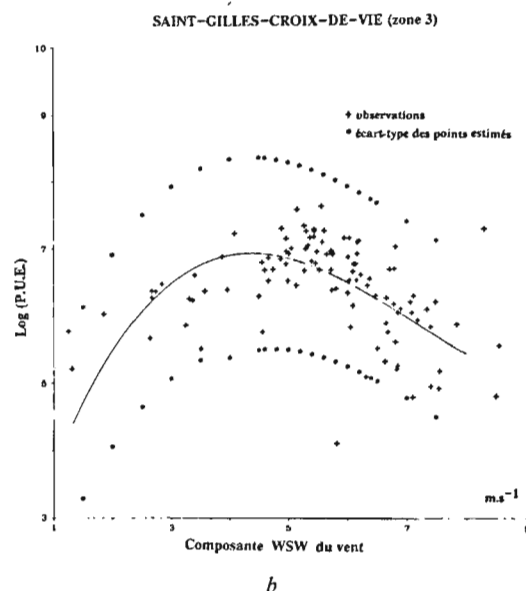
— au sud de la mer d'Iroise (par $47^{\circ}50'N$, $4^{\circ}52'W$), à 10 milles nautiques de la côte, le courant induit pour un vent de secteur nord-ouest est estimé à 14.4 cm.s^{-1} vers l'est;

— au sud des îles de Glénan (par $47^{\circ}34'N$, et $4^{\circ}52'W$) le courant induit pour un vent de secteur sud-ouest est de l'ordre de 6 cm.s^{-1} vers l'ouest.



(a) Le Croisic : vent au Talut; période 1961 à 1969.

(a) *Le Croisic: relationship between CPUE of the component of the wind at "Le Talut", for the period 1961 to 1969.*

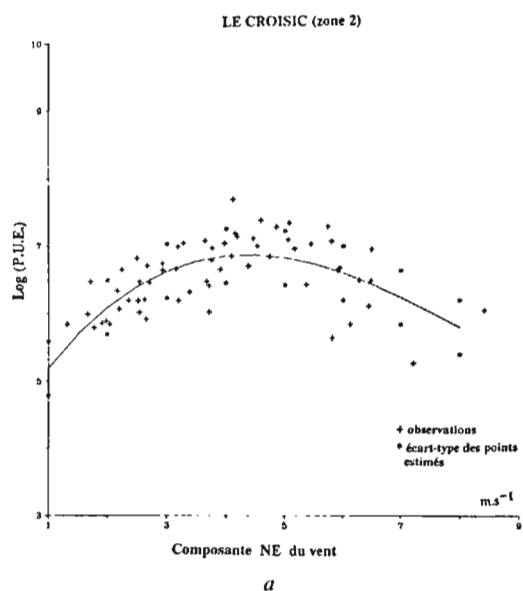


(b) Saint-Gilles-Croix-de-Vie : vent à Saint-Sauveur (île d'Yeu); période 1961 à 1969.

(b) *Saint-Gilles-Croix-de-Vie: relationship between CPUE of the component of the wind at "Saint-Sauveur" (île d'Yeu), for the period 1961 to 1969.*

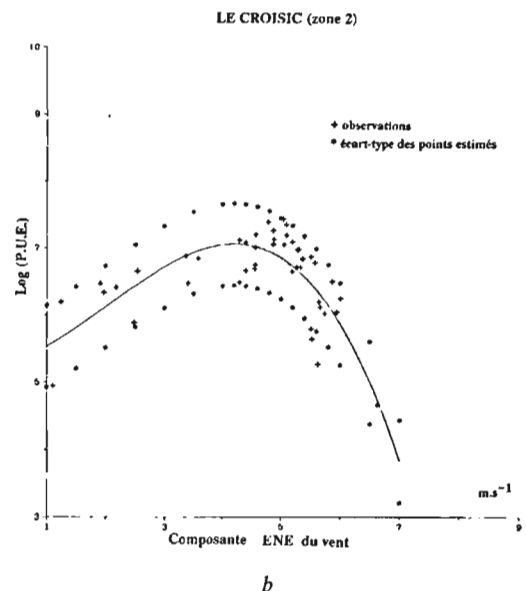
Figure 6. — Relations entre les PUE et la composante ouest-sud-ouest du vent.

Relationships between CPUE and the component west-southwest of the wind.



(a) Relation avec la composante nord-est du vent; période 1961 à 1969.

(a) *Relationship with the northeast component of the wind; period 1961 to 1969.*



(b) Relation avec la composante est-nord-est du vent; période 1961 à 1969.

(b) *Relationship with the east-northeast component of the wind; period 1961 to 1969.*

Figure 7. — Relations entre les PUE au Croisic et un vent de secteur nord-est (sémaphore du Talut, Belle-Ile).

Relationships between CPUE at Le Croisic and a northeast wind ("Le Talut", Belle-Ile).

Tableau 2. — Résultats des analyses; définition des régressions polynomiales de degré 3.

Cubic polynomial regression analyses.

Zone géographique	Composante du vent	Période	Coefficients du polynôme			
			a	b	c	d
Le Croisic	WSW	1961-1967	0,14	0,22	-0,034	5,1
	ENE	1961-1967	0,1	0,26	-0,044	5,22
	SW	1961-1967	1,6	-0,19	-0,006	3,22
	NE	1961-1967	1,56	-0,24	0,095	3,86
Belle-Ile	SW	1961-1965	-0,23	-0,14	0,011	3,71
	SW	1926-1928	-1,99	1,27	-0,190	8,55
Saint-Gilles	SW	1961-1967	0,83	0,16	-0,041	3,64
	WSW	1961-1967	3,13	-0,51	0,024	1,1
Les Sables d'Olonne	SW	1961-1967	7,08	-0,82	-0,14	6,56
Quiberon	VENMAR (SW + marée)	1961-1967	0,81	-0,04	-0,002	2,99
	VENMAR (SW + marée)	1926-1929	-1,05	-0,16	-0,006	10,52
Concarneau	SW	1924-1929	2,93	0,68	-0,28	0,93
Audierne	NO	1922-1929	-	-	-	-
Douarnenez	VENMAR	1926-1929	1,15	-0,08	0,001	3,75

Tableau 3. — Validité des résultats des régressions présentés dans le tableau 2.

Validity of regression results from table 2.

Zone géographique	Nombre d'observations	Coefficient de corrélation multiple r^2	Test de Fisher F	Risque d'erreur p
Le Croisic	100	0,65	59,83	$p < 0,01$
	47	0,59	20,99	$p < 0,025$
	85	0,60	36,07	$p < 0,01$
	62	0,44	15,05	$p < 0,025$
Belle-Ile	95	0,66	58,49	$p < 0,01$
	43	0,60	19,84	$p < 0,025$
Saint-Gilles	100	0,64	57,37	$p < 0,01$
	95	0,64	52,33	$p < 0,01$
Les Sables d'Olonne	79	0,51	2643	$p = 0,01$
Quiberon	100	0,38	19,84	$p < 0,025$
	64	0,28	6,81	$p < 0,05$
Concarneau	74	0,76	23,95	$p < 0,025$
Audierne	61	-	-	-
Douarnenez	87	0,25	9,51	$p < 0,05$

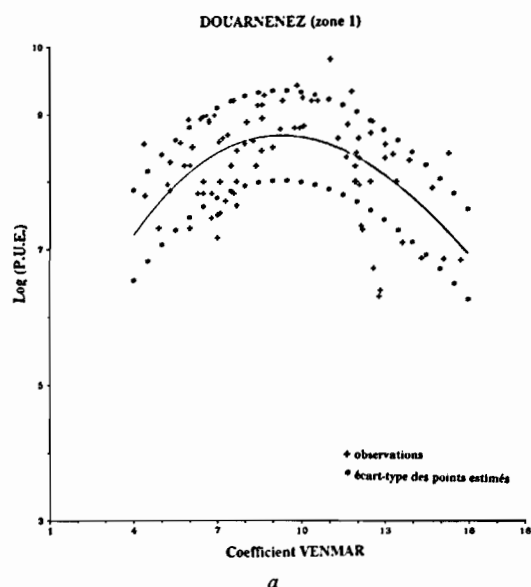
Pour un vent de nord-est, il est de l'ordre de $5,7 \text{ cm.s}^{-1}$ vers l'est.

D'un point de vue biologique, Therriault et Platt (1981) et Demers *et al.* (1987) estiment la valeur de 5 cm.s^{-1} comme le seuil de désagrégation des « taches » phytoplanctoniques; c'est-à-dire, qu'au-dessus de cette valeur, la turbulence est un facteur dominant dans la régulation des concentrations planctoniques. Toutes ces valeurs extraites de modèles théoriques ne sont pas exprimées avec le même pas de temps; cependant, il est intéressant de noter que l'ordre de grandeur de $5 \text{ à } 6 \text{ m.s}^{-1}$ est une valeur clé

pour plusieurs paramètres de l'environnement :

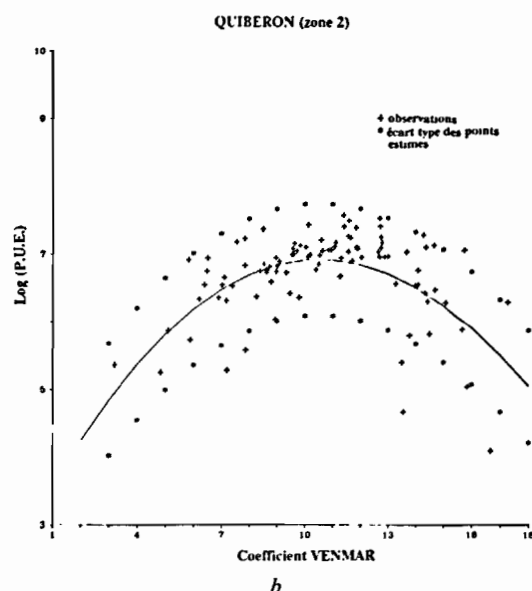
- point d'équilibre des structures thermiques verticales en période estivale;
- conditions optimales pour le développement des concentrations de phytoplancton; il y a un apport de sels nutritifs dans la couche euphotique sans qu'il y ait de destruction des structures biologiques;
- rendements maximaux de la pêche sardinière dans le golfe de Gascogne.

Cury et Roy (1989) définissent une même valeur de vent de 5 m.s^{-1} comme une condition d'environ-



(a) Quiberon : relation entre PUE et l'indice « VENMAR » pour la composante sud-ouest du vent au Talut, période 1961 à 1967.

(a) Quiberon: relationship between CPUE and the index "VENMAR" computed for the southwest component of the wind at "Le Talut" for the period 1961 to 1967.



(b) Douarnenez : relation entre PUE et l'indice « VENMAR » pour le module du vent à Penmarc'h. Période 1926 à 1929.

(b) Douarnenez: relationship between CPUE and "VENMAR" index at "Penmarc'h", for the period 1926 to 1929.

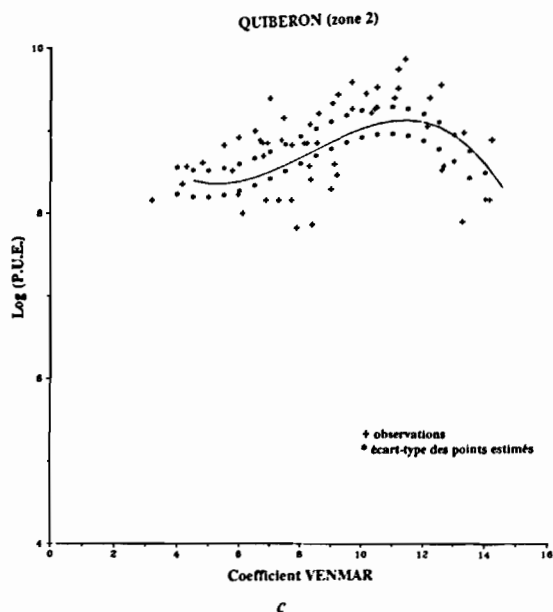
nement optimale pour le recrutement de poissons pélagiques côtiers dans les systèmes d'upwelling de type d'Ekman. Cette relation s'explique par l'importance de la disponibilité en nourriture et des contraintes physiques comme la turbulence pour la survie des larves. Si la sensibilité des larves pélagiques aux conditions de l'environnement est une étude différente de celle de la disponibilité des adultes, les conditions optimales semblent proches.

Facteurs limitants

La relation non linéaire définie entre les PUE et le vent est limitée par deux facteurs physiques pour des vents $< 2 \text{ m.s}^{-1}$ ou $> 7 \text{ m.s}^{-1}$. La nature de ces limites dépend de l'évolution de la stratification verticale de la température de la couche d'eau en période estivale. La forte turbulence générée par un vent soutenu entraîne un approfondissement de la thermocline et un refroidissement de la couche homogène de surface. Au contraire, si durant plusieurs jours, la vitesse du vent reste très faible, de 0 à 2 m.s^{-1} , et l'ensoleillement important, le gradient vertical de température va s'intensifier et la thermocline remonter près de la surface, ceci peut-être à l'origine des rendements très faibles de la pêche. La sardine ne « monte » pas, contrainte par un gradient trop fort.

Niveau d'abondance du stock

L'écart-type des PUE correspondant à des conditions optimales de vent est grand et pourrait refléter les variations interannuelles d'abondance du stock. Le comportement de la sardine face à des fluctuations de son environnement est fonction de ses exigences



(c) Quiberon : relation entre PUE et l'indice « VENMAR » pour la composante sud-ouest du vent à Beg Melen, période 1926 à 1929.

(c) Quiberon: relationship between CPUE and the index "VENMAR" computed for the southwest component of the wind at "Beg Melen" for the period 1926 to 1929.

Figure 8. — Relations entre les PUE et l'indice « VENMAR » (vent et marée).

Relationships between CPUE and "VENMAR" index (wind and tide).

physiologiques et de son gréganisme. Pour des conditions environnementales identiques ses réactions seront semblables, c'est-à-dire pour un vent de 5 m.s^{-1} , sa disponibilité à la pêche est maximale et donc les rendements optimaux. Cependant, les variations d'abondance du stock, l'importance et la structure des bancs vont entraîner des fluctuations du niveau de rendement maximal indépendamment des conditions au moment de la pêche.

Effet d'un vent perpendiculaire à la côte et dirigé du large vers la côte

Les rendements de la pêche dans les zones de Concarneau, Belle-Ile, Le Croisic, Les Sables d'Olonne et Saint-Gilles-Croix-de-Vie sont liés à l'intensité de la composante ouest-sud-ouest ou sud-ouest du vent, soit à un vent perpendiculaire à la côte (à l'entrée du golfe du Morbihan pour Belle-Ile) et dirigé vers celle-ci.

Pour un vent opposé, soit de la côte vers le large, les captures sont faibles, quelque soit la vitesse du vent, excepté au Croisic.

Pour des valeurs moyennes de la composante du vent, autour de 5 m.s^{-1} , ces relations peuvent être reliées à la circulation résiduelle induite par ce vent.

En période estivale, la température superficielle de l'eau est plus élevée au large qu'en zone côtière, brassée par des courants de marée importants; la circulation résiduelle par un vent de secteur sud-ouest entraîne ces eaux plus chaudes vers la côte. Ce mécanisme peut être généralisé à toute la côte atlantique. Cependant, d'après les résultats théoriques évoqués précédemment, l'intensité de cette circulation résiduelle est particulièrement marquée en baie de Concarneau, à l'entrée du golfe du Morbihan et autour de l'île d'Yeu, précisément dans les zones de pêches évoquées dans ces relations. Ces apports d'eaux plus chaudes vers la côte créent des conditions favorables à un déplacement des sardines, sensibles aux variations thermiques (Kurc, 1969) vers la zone littorale plus riche en phytoplancton qui constitue leur nourriture. Furnestin (1941) a décrit des migrations semblables de la côte vers le large pour les sardines du sud du golfe de Gascogne. Les sardines, particulièrement sténothermes en période de ponte, migreraient vers les eaux plus chaudes du large. Elles reviendraient à la côte pour se nourrir lorsque le réchauffement saisonnier s'amorce.

Ce même mécanisme peut expliquer l'effet négatif des vents de secteur nord-est sur les rendements de la pêche à Concarneau, aux Sables d'Olonne et à Saint-Gilles-Croix-de-Vie. La circulation nord-est/sud-ouest induite par ce vent entraîne les eaux superficielles chaudes vers le large; suivant le même schéma que précédemment, les sardines pourraient fuir les eaux côtières froides (car provenant de remontées d'eaux profondes) vers le large et donc ne plus être accessibles pour les pêcheurs.

L'éloignement de la côte des bancs de sardines était une contrainte plus importante pour les pinasses à voile des années 1922 à 1929 que pour les petits chalutiers des années 1961 à 1969. Cette différence de moyen d'accès à la ressource explique la variation de la dispersion des points entre ces deux périodes dans la relation PUE/composante nord-est du vent à Concarneau et à Belle-Ile. En effet, dans les années 1922 à 1929, les rendements de la pêche sont systématiquement nuls sous ces conditions météorologiques, alors qu'ils peuvent atteindre des valeurs moyennes dans les années 1960, la recherche du poisson pouvant s'étendre plus au large.

L'absence d'autre phénomène hydrologique particulier à ces zones géographiques et indépendant de l'effet du vent, justifierait la part importante de la variabilité expliquée par un seul paramètre de l'environnement.

Cas particulier de l'influence de la Loire sur la pêche au Croisic

Alors que les composantes est-nord-est et nord-est du vent induisent des rendements de la pêche très faibles dans les différentes zones étudiées, leur effet est positif pour la pêche au Croisic. Cette particularité peut s'expliquer par l'influence de la Loire dont l'embouchure est située à 11 milles nautiques environ au sud-est du Croisic. Les eaux dessalées de la Loire se répandent sur une mince couche de surface au-dessus des eaux océaniques et la force de Coriolis, associée aux gradients de densité et à l'effet de la marée, renforce leur mouvement en direction du nord-ouest vers le plateau rocheux du Four devant le Croisic (Salomon et Lazure, 1988). Un vent de nord à nord-ouest s'oppose à cette pénétration vers le nord. Ces apports d'eau superficielle plus chaude et plus riche en composants nutritifs que les eaux océaniques créent une zone de gradient devant le Croisic. Ces fronts peuvent être une source de concentration de sardines dans ce secteur.

Influence conjuguée de la marée et du vent

Les relations obtenues entre l'indice « VENMAR » et les rendements de la pêche mettent en évidence la complémentarité de ces deux facteurs sur l'évolution des structures thermiques verticales dans les zones peu profondes comme les secteurs de Quiberon et de Douarnenez ou la zone frontale d'Iroise qui borde la baie de Douarnenez. Par petit fond, au-dessus d'un seuil égal à 11 de l'indice « VENMAR », l'impact des courants de marée, entraînant des frottements sur le fond, ajouté à la turbulence induite par le vent dans la couche de surface ont pour conséquence une homogénéisation verticale de la colonne d'eau (Salomon et Lazure, 1988). Il résulte de cette évolution des structures thermiques, un refroidissement de la couche d'eau de surface et la destruction de gradients verticaux nécessaires au développement de certaines algues phytoplanctoniques (Cushing, 1989). Ces eaux froides et homogènes s'étendent sur tout un secteur géogra-

phique; à leur périphérie, des zones de gradients horizontaux et verticaux se forment au contact des eaux stratifiées du large. L'éloignement de la côte de ces fronts, favorables à la concentration des sardines (Vincent et Kurc, 1969), rend les poissons moins accessibles à la pêche. Dans le secteur du front d'Iroise, les mêmes mécanismes d'extension de la zone homogène froide éloignent les poissons des secteurs de pêche.

L'intensification des gradients thermiques et l'augmentation de la convergence de matière organique (Le Fèvre *et al.*, 1983) due à l'intensification des courants parallèles au front, ne favorisent pas la pénétration des bancs de sardines vers la baie de Douarnenez. Les effets combinés du vent et de la marée sont liés à la disponibilité du poisson et à l'abondance des captures par une modification de leur répartition géographique et de celle possible des concentrations de nourriture.

CONCLUSION

À l'échelle de quelques jours, le vent induit des fluctuations courantologiques et hydrologiques de l'environnement différentes suivant les zones géographiques du nord du golfe de Gascogne. La spécificité locale des relations obtenues entre PUE et la vitesse du vent selon une ou deux composantes reflète cette hétérogénéité et cette dynamique de l'environnement physique. La composante du vent, perpendiculaire au trait de côte, et dirigée du large vers la côte explique entre 51 et 76 % de la variabilité de disponibilité des sardines à Concarneau, Belle-Ile, Saint-Gilles-Croix-de-Vie et Les Sables d'Olonne. La même composante, pour les deux sens du large vers la côte et vice et versa, explique 44 à 65 % de la variabilité au Croisic; cette particularité peut être due à sa situation à l'embouchure de la Loire. Pour les zones peu profondes de Douarnenez et Quiberon il est nécessaire de tenir compte de l'impact de la marée, très marquée, en plus de l'effet du vent.

Ces résultats suggèrent des mécanismes d'action liés à la circulation résiduelle induite par le vent et la marée. Ces courants sont à l'origine de modifications des structures thermiques horizontales hétérogènes en période estivale et du profil thermique vertical stratifié. L'évolution de la structure verticale par la turbulence permet d'expliquer la relation entre les PUE et la vitesse du vent. Des conditions de vent de 5 à 6 m.s⁻¹ semblent être optimales pour la stabilité de la colonne d'eau et le développement planctonique de même que pour la disponibilité des sardines. L'existence de gradients thermiques horizontaux peut expliquer la relation entre les PUE et une direction particulière du vent, excepté dans la zone de Douarnenez où la direction semble moins importante à prendre en

compte. Par les fluctuations thermiques qu'il induit, le vent entraîne des modifications de la répartition des sardines. À l'échelle de quelques jours, ces modifications rendent la recherche du poisson par les pêcheurs complexe et incertaine et peuvent entraîner une forte variabilité d'abondance des captures.

Le type d'approche proposé souligne la nature non linéaire de l'impact des fluctuations climatiques sur la pêche et l'importance des variations de disponibilité induites par des phénomènes météorologiques non prédictibles dans les fluctuations des captures.

RÉFÉRENCES

- Ascensio N., J. Darchen, D. Deconinck, S. Dziatara, C. Kerleau, 1987. Éléments climatologiques concernant les côtes de la France métropolitaine. Données et statistiques n° 8, Météorologie nationale, Paris, 135 p.
- Bakun A., 1982. Turbulence, transport and pelagic fish in the California and Peru current systems. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, 23, 99-112.
- Belloc G., 1930. La question de la sardine dite « sauvage ». *Rev. Trav. Off. Pêches*, 3, 47-63.
- Belloc G., 1932. Contribution à l'étude de la sardine des côtes françaises de l'Atlantique. *Rev. Trav. Off. Pêches*, 5, 140-166.
- Belveze H., K. Erzini, 1983. The influence of hydroclimatic factors on the availability of the sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum) in the Moroccan Atlantic fishery. Expert consultation to examine changes in Abundance and Species composition of Neritic stocks, San José, Costa Rica, 1983, 285-327.
- Belveze H., 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardus*) peuplant les côtes Atlantiques marocaines et propositions pour un aménagement des pêcheries. *Thèse dr.*, Univ. Brest, 532 p.
- 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. *Aquat. Living Resour.*, 1, 115-132.
- Carruther J. N., 1938. Fluctuations in the herrings of the East Anglian Autumn fishery, the yield of the Ostend spent Herring fishery, and the Haddock of the north sea in the Light of relevant wind conditions. *Rapp. P.-v. Réunion. Cons. int. Explor. Mer*, 107, 10-15.
- Cassanet J., 1981. Étude par télédétection des températures et turbidités des eaux au large de la Loire-Atlantique. Contrat CNEXO/EPHE. École Normale de Montrouge. *Ecole Norm. sup. jeunes filles*, 21, 200 p.
- Cury P., C. Roy, 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte-d'Ivoire: une approche globale. *Oceanol. Acta*, 10, 347-357.
- Cury P., C. Roy, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46, 670-680.

- Cushing D. H., 1989. A difference in structure between ecosystem in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. *J. Plankton Res.*, **11**, 1-14.
- Demers S., J. C. Theriault, E. Bourge, A. Bah, 1987. Resuspension in the shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment wind influence. *Limnol. Oceanogr.*, **32**, 327-339.
- Desbrosses P., 1933. Étude de la sardine de la côte de Bretagne depuis Concarneau jusqu'à l'embouchure de la Loire. *Rev. Trav. Off. Pêches*, **6**, 34-61.
- Fruchaud B., 1975. — Étude hydrologique et variations saisonnières dans le Proche Atlantique en 1972. *CNEXO Rapp. scient. tech.*, **20**.
- Fruchaud-Laparra B., J. Le Floch, J. Y. Le Tardaut, A. Tanguy, 1976. Étude hydrologique et variations saisonnières dans le proche Atlantique. *CNEXO. Rapp. scient. tech.*, **26**.
- Furnestin J., 1939-1941. Contribution à l'étude de la biologie de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum). *Rev. Trav. Off. Pêches*, **13**, 227-385.
- Guillou A., J. C. Njock, 1978. Analyse des structures de la pêche dans les ports de la côte Atlantique française de 1961 à 1975 et les incidences du chalutage sur les stocks des principales espèces concernées par cette activité dans les mers adjacentes. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **42**, 17-16.
- Guyader, 1926. L'évolution de la pêche de la sardine et l'industrie des conserves de sardines sur le littoral français de l'Atlantique. *La Pêche Maritime*, **399**, 33-35; **400**, 49-50; **403**, 97-99.
- Hunter J. R., G. D. Sharp, 1983. Physics and Fish populations: shelf sea fronts and fisheries. Expert consultation to examine change in Abundance and species composition of Neritic stocks, San José, Costa Rica, 1983, 659-682.
- Kullenberg G., 1976. On vertical mixing and the energy transfer from the wind to the water. *Tellus*, **24**, 17-28.
- Kullenberg G., 1978. Vertical processes and the vertical-horizontal coupling. In: J. H. Steele ed. Spatial pattern in plankton communities. Plenum Press, New York and London, 43-71.
- Kure G., 1969. La biologie et la pêche des sardines en relation avec l'hydrologie. *Science et Pêche Bull. Inst. Pêches marit.*, **178**, 1-14.
- Langlois G., 1982. Étude courantométrique et hydrologique de la région côtière située entre les îles de Belle-Ile et de Noirmoutier. *Thèse dr.*, Univ. Brest.
- Lasker R., 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in California Current: identification of factors contributing to recruitment failure. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, **178**, 375-387.
- Le Cann B., 1982. Évolution annuelle de la structure hydrologique du plateau continental du sud de la Bretagne. Modélisation numérique. *Thèse dr.*, Univ. Brest. 252 p.
- Le Fevre J., P. Le Corre, P. Morin, J. L. Birrien, 1983. The pelagic ecosystem in frontal zones and other environments off the west coast of Brittany. *Oceanol. Acta*, *Proc. 17th European Marine Biology Symposium*, Brest, 125-129.
- Le Gall J., 1930. Contribution à l'étude de la sardine des côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique. *Rev. Trav. Off. Pêches*, **3**, 19-46.
- Le Gall Th., 1904. L'industrie de la pêche dans les ports sardiniers bretons, crises et palliatifs. Imprimerie Guillemin et Voisin, Rennes 252 p.
- Mariette V., J. P. Le Saos, A. Pichon, J. P. Girardot, 1980. Résultats des mesures effectuées lors de la campagne DYNATLANT 80. *Rapp. scient.*, Univ. Brest.
- Mariette V., 1985. Effets des échanges atmosphériques sur la structure thermique. Application à des zones du large et à une zone côtière. *Thèse dr.*, Univ. Brest, 284 p.
- Mariette V., B. Le Cann, 1985. Simulation of the formation of Ushant thermal front. *Cont. Shelf Res.*, **4**, 637-660.
- McCall A. D., 1983. Variability of pelagic fish stock off California. Expert Consultation to Examine changes in Abundance and species composition of Neritic stocks, San José, Costa Rica, 1983, 101-112.
- Mendelssohn R., P. Cury, 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **44**, 408-421.
- Mendelssohn R., P. Cury, 1989. Temporal and spatial dynamics of a coastal pelagic species, *Sardinella maderensis*, off the Ivory Coast. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**, 1686-1697.
- Niler P. P., E. B. Kraus, 1977. One dimensional models of the upper ocean. In: Modelling and prediction of the upper layers of the Ocean, E. B. Kraus ed. Pergamon Press, New York, 143-172.
- Parrish R., A. McCall, 1978. Climatic variation and exploitation in the Pacific Mackerel. *Calif. Fish Game Bull.*, **167**, 110 p.
- Peterman R. M., M. Bradford, 1987. Wind speed and mortality rate of a Marine Fish, the Northern Anchovy (*Engraulis mordax*). *Science*, **235**, 354-356.
- Pond S., G. L. Pickard, 1978. Introductory dynamic oceanography. Pergamon Press, 241 p.
- S.H.O.M., 1973. Courants de marée de la côte Ouest de la France, de Brest à Saint-Jean-de-Luz. Ouvrage n° 552.
- Salomon J. C., 1976. Modèle mathématique de la propagation de la marée en estuaire et des transports sableux associés. Application aux estuaires de la Loire et de la Seine. *Thèse dr.*, Univ. Brest, 282 p.
- Salomon J. C., P. Lazure, 1988. Étude par modèle mathématique de quelques aspects de la circulation marine entre Quiberon et Noirmoutier. *Rapp. IFREMER/DERO* 88 26 EL.
- Serpette A., 1989. Modélisation numérique des courants de marée barotrope dans les zones sud-Bretagne et Vendée-Gironde. *Rapp. scient. contrat EPSHOM* 87-473, Univ. Brest.
- Sharp G. D., J. Csirke, S. Garcia, 1983. Modelling fisheries: what was the question? Expert consultation to examine changes in abundance and species composition of Neritic stocks, San José, Costa Rica, 1983.

- Shepherd J. G., J. W. Horwood, 1979. The sensitivity of exploited populations to environmental « noise » and the implications for management. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 30, 318-323.
- Shepherd J. G., J. G. Pope, R. D. Cousens, 1984. Variations in fish stocks and hypotheses concerning their links with climate. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, 135, 255-267.
- Snedecor G. W., W. G. Cochran, 1984. Méthodes statistiques, 6^e ed. Iowa State, University Press Ames, 648 p.
- Therriault J. C., T. Platt, 1981. Environmental control of phytoplankton patchiness. *J. Fish. Res. Board Can.*, 33, 368-641.
- Vincent A., G. Kurc, 1969. Variations de la situation thermique dans le Golfe de Gascogne et leur incidence sur l'écologie et la pêche de la sardine en 1968. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 33, 203-212.