

RÉPARTITION ET ÉVOLUTION DES EAUX DE SURFACE AU LARGE DU CAP D'ANTIBES

par M. AUBERT, H. LEBOUT, J. AUBERT et M. GAUTHIER

Dans le cadre des études faites par le C.E.R.B.O.M sur l'évolution des masses d'eau polluée et sur le devenir des bactéries telluriques en mer, nous avons effectué une étude courantologique de la zone marine côtière adjacente au cap d'Antibes, zone comprise entre le golfe Juan à l'ouest, et la baie des Anges à l'est.

Sur toute cette étendue nous avons effectué, d'une part une étude des courants de surface et, d'autre part, une étude hydrologique comportant la détermination des courbes isohalines et isothermes. Nous avons pu ainsi recueillir certaines précisions sur les mouvements des eaux superficielles.

I. — Méthodes d'étude et description du matériel utilisé.

1^o) *La courantométrie de dérive.*

Elle a été pratiquée soit par des courantomètres à flotteurs (en toile, retenus immergés dans la couche superficielle par un petit flotteur en polystyrène), soit par le lancer d'un millier de petits flotteurs de flottabilité faiblement positive. Le repérage topographique de leurs différentes positions au moyen d'un compas magnétique à alidade à prisme, a permis d'en déterminer le trajet. Chacun des points a fait l'objet d'une double triangulation et les résultats obtenus ont été confrontés avec les courbes isobathes fournies par des cartes à grande échelle, la profondeur étant repérée à l'écho-sondeur enregistreur. Cette double méthode topographique et bathymétrique permet d'avoir une assez bonne certitude sur le repérage des points.

2^o) *Étude des isohalines.*

Les mesures de salinité ont été effectuées de deux manières différentes : soit par dosage chimique à la burette de Knudsen, après prélèvements d'eau par bouteille à clapet, en des points successifs, soit en marche continue du bateau, par un électrosalinomètre dont les électrodes sont immergées conjointement avec la sonde thermométrique.

3^o) *Étude des isothermes.*

L'étude des isothermes a été faite, soit au moyen d'un thermomètre classique, soit d'une façon continue pendant la marche du bateau grâce à un thermomètre électronique à thermistance électrique donnant les températures au $1/10^{\circ}$ de degré. La sonde thermique est placée en surface à l'avant du bateau.

Résultats.

Situation hydrologique et courantologique de la zone marine côtière du cap d'Antibes.

Cette étude a été réalisée dans trois conditions météorologiques différentes : par vent de *secteur est*, par vent de *secteur nord* et par vent de *secteur ouest*.

A) SITUATION PAR VENT D'EST.

Courantométrie. Au niveau de la face est du cap d'Antibes, c'est-à-dire entre la pointe Bacon, la Grenille et le cap Gros, l'observation des courants par vent d'est de 4 à 6 m/s, a montré l'existence d'un courant de direction sud, animé d'une vitesse de 0,26 m par seconde, qui s'engage dans l'anse de la Garoupe, puis prend une direction sud-est pour franchir le cap Gros. Mais par rapport à la vitesse du vent au cours de laquelle ces mesures ont été faites, on peut noter que cette vitesse est supérieure à celle qu'elle devrait atteindre sous la seule action du vent. Il y a donc lieu d'envisager l'existence d'un courant de direction générale nord-sud, accélérant le courant de dérive de ces eaux, courant provenant de la sortie en mer des eaux du Var, située à l'est du cap d'Antibes. Par vent d'est faible (2 m/s) un courant identique est mis en évidence, mais sa vitesse nettement inférieure entraîne une pénétration plus importante des eaux dans l'anse de la Garoupe.

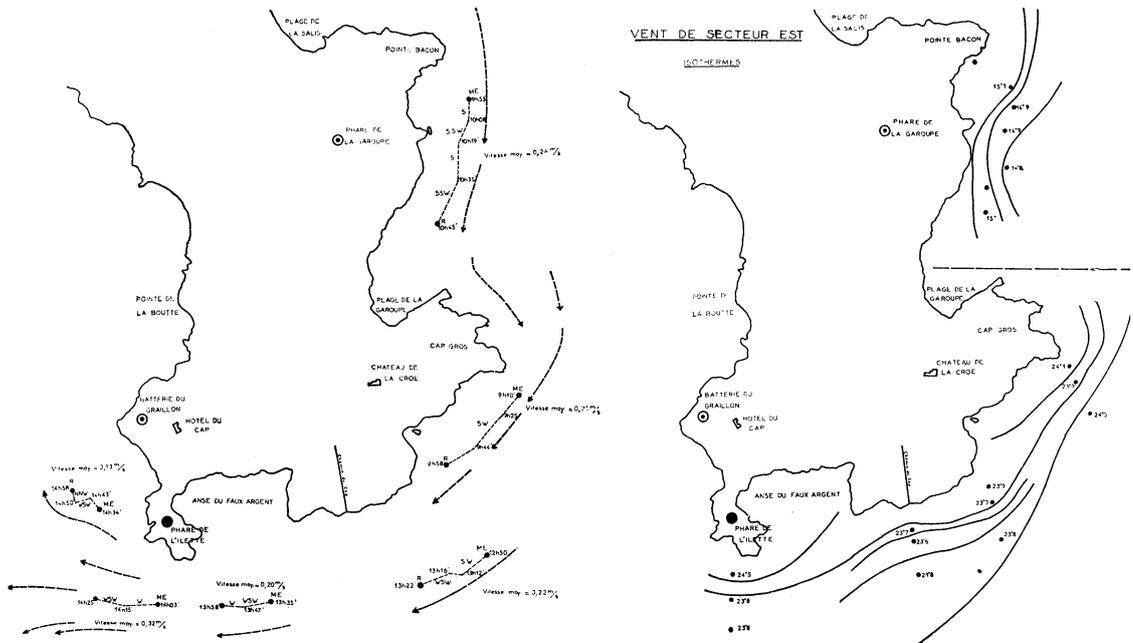


FIGURE 1

Au niveau de la face sud et de la face ouest du cap d'Antibes, du cap Gros à la pointe de la Boutte, et par vent d'est faible (2 à 3 m/s) l'étude des courants a été réalisée en différents points. Les résultats ont été les suivants.

Devant le cap Gros : les flotteurs mis à l'eau dans le S-SE de ce cap (soit à 200 m du rivage) ont été récupérés dans le S-SE du château de la Croë (à 200 m de la côte). Ils ont parcouru 600 m en direction SO pendant 48 mn, donc à une vitesse de 0,21 m/s.

Le deuxième point d'étude a été choisi au large de la pointe sud du cap d'Antibes, les courantomètres ont été mis à l'eau dans le S-SE de cette pointe. Ils ont parcouru 430 m en 32 mn (vitesse moyenne : 0,22 m/s) dans le SO (pendant 26 mn), puis dans l'O-SO (pendant 6 mn).

Le troisième point étudié se situe au large de l'anse du Faux Argent : les courantomètres mis à l'eau à 450 m du rivage ont été entraînés pendant 23 mn en direction O-SO puis O, sur 285 m, soit à une vitesse de 0,20 m/s.

Au large de la pointe de l'Ilette : les flotteurs de surface mis à l'eau à 300 m dans le sud de cette pointe ont suivi un trajet de 1 144 m en 22 mn (soit à une vitesse moyenne de 0,32 m/s) en direction ouest.

Cette étude montre donc que par vent de secteur est, la dérive des eaux se fait parallèlement au rivage de l'est vers l'ouest, aussi bien au niveau de la face est que devant la face sud du cap d'Antibes. Mais, étant donné l'importance de cette dérive et la forme prise par le trajet général des courantomètres le long de la face sud, il était intéressant de rechercher s'il n'y avait pas un certain infléchissement des courants vers la face ouest du cap d'Antibes. Des courantomètres mis à l'eau au large de la Batterie du Graillon (à 200 m du rivage) ont suivi un trajet de direction NO. Dans cette direction, ils ont parcouru 200 m en 24 mn, soit à une vitesse moyenne de 0,13 m/s. En période de vent d'est, cette zone semble donc constituée d'eaux animées de faibles mouvements et situées hors du circuit général du courant EO balayant la face sud du cap d'Antibes.

Par vent d'est moyen (4 à 5 m/s), un lancer de 400 petits flotteurs a été fait au large du cap Gros. Trois jours après, nous n'avons pu retrouver qu'une dizaine d'entre eux sur la plage de Théoule. Par contre, l'exploration minutieuse de la côte depuis le cap d'Antibes jusqu'à la Napoule n'a permis d'en retrouver aucun. On peut donc penser que dans ces conditions météorologiques, les mouvements des eaux au niveau de la face ouest du cap sont bien indépendants du courant général décrit précédemment car il ne pénètre pas dans l'intérieur de golfe Juan.

Répartition des eaux en fonction de la salinité et de la température. Les courbes isohalines au large de la face est sont caractérisées par leur parallélisme avec le relief de la côte : les eaux les plus salées étant près de terre (28 g/l) et les moins salées étant au large (24,5 g/l). La valeur relativement faible de la salinité de ces eaux de surface montre bien la présence dans cette zone d'eaux provenant du Var.

La répartition des courbes isothermes sur la face est d'une part, et sur les faces sud et ouest d'autre part, est analogue à celle des isohalines décrites, c'est-à-dire parallèles à la côte, les eaux les plus froides étant vers le large (14°8 en avril, 23°8 en juillet) et les eaux chaudes étant près de terre (15°1 en avril, 24° à 24°5 en juillet).

B) SITUATION PAR VENT DE SECTEUR NORD.

Courantométrie. L'étude a été faite par vent de N-NE, d'une vitesse de 1 à 2 m/s, et par mer calme.

Au niveau de la face est, les courantomètres mis à l'eau à 300 m dans le SO de la pointe Bacon, ont été récupérés au fond de l'anse de la Garoupe, après avoir dérivé 1 h 10 mn. Le courant prend donc dans cette zone une direction S-SO, parallèle au rivage en formant une boucle dans le fond de la baie de la Garoupe. Il est animé d'une vitesse de 0,41 m/s.

Au niveau de la face sud, l'étude a été de nouveau réalisée en différents points mais dans des conditions de vent identiques.

Au large du cap Gros : les courantomètres à flotteurs, mis à l'eau dans le N-NE du cap Gros, à 150 m du rivage, ont suivi un trajet de 900 m en direction sud pendant 48 mn (soit à une vitesse moyenne de 0,39 m/s).

Au large de la pointe sud du cap d'Antibes : les courantomètres immergés à 350 m au sud de l'extrémité du chemin du cap, ont été entraînés sur 185 m et pendant 14 mn (vitesse moyenne 0,24 m/s) en direction sud-est.

Enfin, les courantomètres mis à l'eau au sud-ouest de la pointe de l'Ilette (à 400 m du rivage) ont effectué pendant 23 mn un trajet rectiligne de 250 m dans l'est (vitesse moyenne de 0,18 m/s).

Cette étude montre qu'en surface et par vent de secteur nord modéré, un courant de

puis dans le SO vers le cap Gros (à une vitesse de 0,25 m/s). Les eaux de surface sont donc nettement entraînées vers le large dans l'axe de l'anse de la Garoupe : ceci s'explique par le fait que la protection exercée par le massif du cap d'Antibes en vent de secteur ouest est très atténuée ; les eaux de l'anse de la Garoupe, en dérivant vers le large sous l'action plus sensible du vent d'ouest, entraînent une nette inflexion du courant longeant la côte du nord vers le sud. Cette action diminuant au niveau du cap Gros, ce courant se rapproche de la côte, près de celui-ci.

Au niveau de la face sud, l'étude a porté, comme précédemment, sur plusieurs points : au nord du cap Gros, les courantomètres mis à l'eau à 100 m du rivage ont dérivé vers le sud à une vitesse de 0,18 m/s. Au sud de ce cap, les courantomètres immergés à 75 m du rivage ont suivi un trajet de 520 m pendant 1 h 30 (soit à la vitesse de 0,09 m/s). Au large de la pointe sud du cap d'Antibes, la direction prise par les courantomètres mis à l'eau à 125 m de la rive, est constamment SO. Dans cette direction, ils ont parcouru 300 m en 16 mn (soit à raison de 0,33 m/s en moyenne). Jusqu'à ce point les eaux sont donc animées d'un mouvement régulier de direction sud-ouest. Par contre, les courantomètres mis à l'eau à 200 m au sud de la pointe de l'Ilette se sont dirigés vers le NE à la vitesse moyenne de 0,12 m/s. Il y a donc là une situation

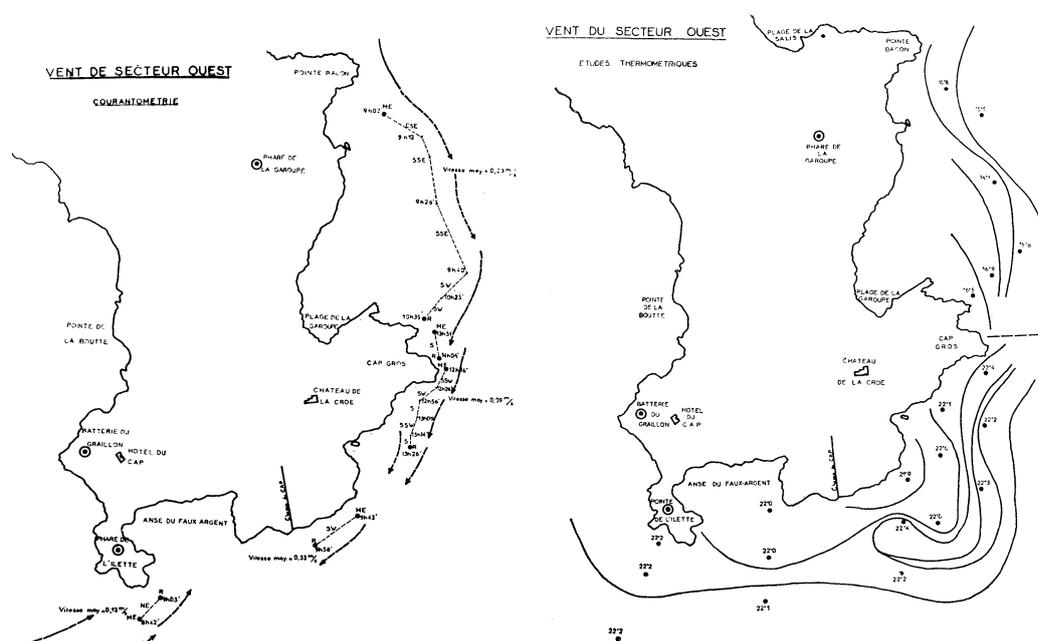


FIGURE 3

courantologique particulière : ce courant de direction NE venant de l'ouest (large du golfe Juan) vient heurter, au niveau de l'anse du Faux Argent les masses d'eaux qui dérivent vers le SO en longeant la côte est du cap d'Antibes. L'existence de ces dernières montre qu'au large de ce cap est réalisée, par vents de secteur ouest, une importante barrière pour les courants côtiers de surface dérivant vers l'est. Cette barrière est instable car elle résulte de l'équilibre entre la force des courants dérivant vers l'est et celle de ce courant de direction SO qui s'établit par vent d'ouest. Elle est « forcée » par vent d'ouest fort (supérieur à 8 m/s). Ce cas n'est pas unique et une étude générale des courants à proximité de nos côtes montre que cette situation se retrouve au niveau de nombreux promontoires naturels (entre la pointe de la Croisette et l'île Ste-Marguerite par exemple).

Répartition des masses d'eaux en fonction de la salinité et de la température. Au niveau de la face est, entre l'îlot de la Grenille et le cap Gros, les courbes isohalines de surface forment une longue

écharpe grossièrement parallèle à la côte, mais qui se dirige d'abord vers le S-SE avant de retourner dans l'axe de la baie de la Garoupe, vers le SO, qu'elles atteignent au niveau du cap Gros. Ce sont des eaux de salinité relativement faibles (26, 2 à 27 g/l). Les courbes isothermes sont parallèles aux isohalines, donc de direction générale NS, avec des eaux légèrement plus chaudes au contact des rivages (15°9 en avril) et un peu plus froides au large (15°). Ces différentes courbes suivent donc la courantométrie de cette zone. Au niveau de la face sud, du cap Gros jusqu'à la pointe sud du cap d'Antibes, les eaux de surface à température relativement élevée (22°4 en juillet) dérivent vers le sud pour former une courbe qui les ramène vers le nord. Elles s'opposent alors à des eaux plus froides (21°9) qui dérivent lentement le long du rivage et au large de l'anse du Faux Argent. Les eaux du large ont une température moyenne plus basse (22°1). Là, également, le parallélisme entre la répartition des eaux et les trajets de dérive des courantomètres est extrêmement apparent.

II. — Mise en place de cette étude par rapport aux données courantologiques générales antérieures.

Il est maintenant intéressant de replacer ces phénomènes courantologiques locaux dans la dérive générale des eaux au large de l'ensemble des côtes sud-est de la France. La situation hydrologique du bassin occidental de la Méditerranée a fait l'objet d'études approfondies, en particulier par ROMANOVSKY de 1951 à 1955, puis par J. FURNESTIN et ALLAIN (été 1957 et automne 1958) et enfin par Ilmo HELA en 1961 et 1962. Bien qu'il existe certaines différences dans la répartition et dans l'orientation des masses d'eau, selon les auteurs, l'aspect de chacune de ces conceptions montre qu'il existe (quelles que soient les conditions météorologiques) un courant constant : le courant ligure, allant de l'est vers l'ouest et longeant le littoral français et italien, du golfe de Gênes au golfe du Lion, jusqu'au large des côtes marseillaises. Les mesures faites par ROMANOVSKY montrent que ce courant longe la côte à une vitesse moyenne de 0,25 à 0,30 m/s près du littoral. Les travaux de FURNESTIN et ALLAIN montrent que cette situation hydrologique se caractérise essentiellement par un grand remous de forme elliptique qui, développé du golfe de Gênes au golfe du Lion et né d'une puissante divergence qui se manifeste avec le plus de force dans l'axe ligurien, caractérise la circulation générale des eaux du secteur nord-méditerranéen. Ilmo HELA, tenant compte des travaux de LACOMBE et de TCHERNIA en 1955 et 1956, ainsi que des observations faites par FURNESTIN et ALLAIN, puis par LE FLOCH et ROMANOVSKY, décrit également un grand remous cyclonique dans la même zone et la formation d'un courant longeant la côte, de Gênes à Marseille, à partir d'une vaste divergence selon un axe NE-SO situé à environ 30 milles de la côte. Cet auteur précise que, au nord de cette divergence, les eaux dérivent parallèlement à la côte en direction ouest, puis SO, à des vitesses variables selon les saisons : printemps et début de l'été : 0,06 à 0,11 m/s, novembre 1960 : 0,25 à 0,80 m/s, octobre 1961 : 0,08 à 0,13 m/s. Comment pouvons-nous relier les phénomènes courantologiques locaux étudiés précédemment et ces phénomènes beaucoup plus généraux ? Nous choisirons un exemple : en vent d'est, la dérive locale des eaux côtières au niveau du cap d'Antibes est facilitée et accentuée par l'existence du courant ligure de direction sud-ouest. Ce courant entraîne vers l'ouest les eaux du Var ; le franchissement du cap est alors régulier et ne s'accompagne d'aucun phénomène particulier. Sa vitesse est, de ce fait, accélérée, comme nous l'avons montré plus haut. Cependant, le phénomène local de dérive des eaux côtières peut être perturbé par le phénomène courantologique général : la perturbation la plus manifeste — nos observations en témoignent — s'établit par vent de secteur ouest. Dans ce cas, la dérive vers l'est des eaux de surface vient heurter, au niveau de la face sud du cap d'Antibes, le courant dirigé vers l'ouest (courant ligure) et littéralement *marqué* par des eaux peu salées et relativement froides provenant du Var. Ce phénomène est ici très net. Il existe également par vent de secteur nord, mais il est alors moins évident, comme nous l'avons vu au cours de l'étude expérimentale.

III. — Étude des données expérimentales déterminées à distance de la zone étudiée.

Il est intéressant également, de voir comment cette évolution hydrologique se fait à distance du cap d'Antibes, et par vent d'intensité différente : *par vent d'est faible*, au-delà du cap

et du golfe Juan, les observations montrent que les eaux passant au large du cap d'Antibes, entourent le seuil surélevé du massif de la Fourmigue et s'engagent dans la passe des îles de Lérins. *Par vent d'est fort* (c'est-à-dire de 40 à 60 nœuds) bien que les mesures hydrologiques soient rendues impossibles par l'état de la mer, la dérive des eaux a pu être repérée de façon précise car celles-ci prennent un aspect trouble et jaunâtre, aspect dû aux particules argilo-calcaires en suspension dans les eaux du Var qui restent individualisées dans leur parcours au large des côtes. Dans ces conditions, le courant de direction ouest contourne le cap d'Antibes au ras du cap Gros et se dirige vers les îles de Lérins où il est encore largement visible. Par contre, *par vent de secteur ouest frais* de 35 à 45 nœuds (Mistral), la dérive des eaux provenant de l'ouest est beaucoup moins évidente, ce qui s'explique par le fait qu'elles viennent s'opposer à la partie côtière des eaux du courant ligure provenant de l'est.

IV. — Conclusions.

En conclusion, nous avons ici un exemple de dérive constante des eaux d'une baie coupée transversalement par une avancée de terre en mer qui détermine la formation d'une barrière plus ou moins efficace selon le régime météorologique. Du fait de l'existence d'un vaste courant de direction constante SO relativement près des côtes (courant ligure), la dérive des eaux côtières entraînées par les vents d'est est perturbée au niveau de chaque cap, de façon constante. Chacun d'eux réalise alors un seuil de passage pour les courants de direction E ou SE. Le franchissement vers l'est de ce seuil est lié à la force et à la vitesse de ces courants, donc des vents sous l'action desquels ils se sont formés; il n'est réalisé que par vent fort.

Cette situation hydrologique a été observée au cours de l'étude de la dérive des eaux de surface faite par le C.E.R.B.O.M. au niveau du cap de Nice, de la pointe de l'aéroport et, comme nous l'avons précisé précédemment, entre la pointe de la Croisette et les îles de Lérins. Il semble donc que ce phénomène soit relativement constant le long de nos côtes.

C.E.R.B.O.M. — Nice.
