



## Une baleine observée par télédétection broutant et dormant sur des vortex en Méditerranée Nord Occidentale

Denise VIALE <sup>1</sup>, Laurent KOECHLIN <sup>2</sup> & Charles-Paul VIALE <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'écologie méditerranéenne CNRS, Université de Corse – Avenue Jean Nicoli, 20250 – CORTE, FRANCE

<sup>2</sup> Institut de recherches en astrophysique et planétologie, Université de Toulouse, CNRS, 14 Avenue Edouard Belin, 31400 – TOULOUSE, FRANCE

<sup>3</sup> Laboratoire d'écologie, APEEM Lavasina, 20222 – BRANDO, FRANCE

\* Correspondance : [vialedenise@gmail.com](mailto:vialedenise@gmail.com)

Manuscrit reçu le 26/07/2023 ; accepté le 20/12/2023 ; mis en ligne le 26/02/2024 ; DOI : <https://doi.org/10.60881/bszf149-1-1>

### Résumé

Notre expérience ARGOCET vise à savoir si les baleinoptères doivent migrer hors de la Méditerranée pour compléter leur nourriture ; elle réussit en 1991, mais elle a été conçue en 1986 ; l'année où est initié par l'U.S. NORDA (Naval Oceans Research and Development Activities) un programme international d'expérimentations conduit par P. La Violette, cherchant les causes d'instabilité de la circulation méditerranéenne du Bassin occidental, déterminant les gyres, et vortex qui se répercutent sur la production de ressources vivantes : *Western Mediterranean Circulation Experiment* (WMCE 1986). Nous participons à une des campagnes, en Mai-juin 1986 dirigée par P. Pistek afin de connaître les potentialités du Sud du Bassin Occidental pour nourrir les grands cétacés. Nous enregistrons en continu les cétacés en surface et la concentration des couches diffusantes sous-jacentes (DSL). La bande enregistrée de ces 14 jours de suivi montre la stricte coïncidence, la *cooccurrence*, des cétacés observés uniquement en présence de fortes concentrations de DSL. L'analyse de cette bande de plus de 20 m se poursuit après le Symposium WMCE de Bay Saint Louis en 1988 où est publié notre premier résultat avec P. Pistek montrant la liaison avec des apports de nutriments dues à des veines d'Eau Intermédiaire méditerranéenne MIW ou levantine LIW. Ce résultat implique un autre : la coïncidence prouve que les cétacés utilisent le même outil que nous pour détecter acoustiquement les amas de biomasses sous-jacentes : un échosondeur.

Frontier mène postérieurement une analyse multifactorielle de correspondances des enregistrements réalisés à WMCE ; un des résultats lisibles sur sa figure 7 que nous reproduisons ici en *figure 1* montre que le baleinoptère et le cachalot sont liés davantage à des amas discontinus (« Discrete Schools »), qu'à une DSL (Deep Scattering Layer) continue. Enfin, le 22.09.1991, nous parvenons à marquer une baleine avec une balise ARGOS pour la suivre et savoir si elle sort de Méditerranée avant l'hiver, à la recherche de nourriture. Mais la balise s'éteint en 42 jours (3 mois étaient prévus !).

Abandon de l'expérience. Ces données sont reprises en 2014 avec Laurent Koechlin, qui les traite numériquement et les transcrit sur la surface terrestre (Fig. 2). Le suivi devient alors explicite, lié au milieu marin. Dès lors nous montrons que la baleine dort chaque nuit, qu'elle utilise les courants permanents ou temporaires pour se déplacer ou dormir et dort aussi dans des vortex de 20 h à 4 h le lendemain, gravant ainsi dans son périple des arcs de cercle dont nous avons seulement les cordes. Ces cordes nous étaient apparues comme de mystérieux « mini-courants intermittents » dans les trois zones dites embrouillées du trajet de la baleine nommées « imbroglios 1, 2, 3 » ; elles fournissent une idée- une valeur approchée- de la vitesse de rotation des vortex dans lesquels elles ont été trouvées. En calculant les longueurs et vitesses de tous les segments parcourus, nous créons 3 schémas lisibles où se situaient jadis les vortex que la baleine a fréquentés, au moins pour dormir.

### Mots-clés

Baleinoptère, télédétection, Balise ARGOS, Méditerranée

## A whale observed by remote sensing grazing and sleeping on vortices in the North Western Mediterranean

**Abstract** Our ARGOCET experiment aiming to know if the Fin whales have to migrate out of the Mediterranean as they do before the Second War, was conceived in 1986; the same year in which the U.S. NORDA (Naval Ocean Research and Development Activity) initiated an international experimental program led by P. La Violette, aimed at clarifying the causes of instability of the Mediterranean circulation in the Western Basin, determining the gyres, and vortices with an impact on the production of living resources: *Western Mediterranean Circulation Experiment* (WMCE 1986). We participate in these campaigns in May-June 1986 directed by P. Pistek to know the potentialities of the South - Western Mediterranean Basin to feed the large cetaceans. We continuously record the cetaceans on the surface and the concentration of underlying diffusing layers (DSL) from 0 to 1000 meters deep. The recorded tape of this follow-up was given to us, but could not be processed before the WMCE Symposium in Bay Saint Louis in 1988 where our first result was published: i.e the strict coincidence (co-occurrence) of the observed cetaceans only in the presence of high concentrations of DSL which implies more nutrient inputs by way of the turbulence (VIALE & PISTEK, 1988). In 1994, Viale and Frontier explain the hydrological reasons for this co-occurrence from their link with the vertical upwelling of the intermediate Mediterranean water MIW or Levantine water LIW studied especially by C. MILLOT 1987b and P. PISTEK (PERKINS & PISTEK, 1988). This result implies another one: this co-occurrence that we show proves that cetaceans use the same tool as us to acoustically detect clusters of underlying biomasses between 0 and 1000 m: an echosounder.

Frontier, subsequently, conducts a multifactorial correspondence analysis of the recordings made during WMCE, preserved on the paper tape (VIALE & FRONTIER, 1994); one of the results visible in their figure 7 that we reproduce here in figure 1 shows that the Fin whale and the Sperm whale are linked more to discontinuous clusters (Discrete Schools), than to a continuous DSL (Deep scattering layer). Parallely in 1991.09.22, we managed to tag a Fin whale with an ARGOS beacon "Platform Transmitter Terminal PTT" to know if it will leave the Mediterranean before Winter, in search of food. But the beacon goes out in 42 days!

This work was resumed in 2014 thanks to the collaboration of Laurent KOEHLIN, who processed digitally all the localisations and transcribed them on the Google earth's chart (see Fig. 2). The Fin Whale's track become linked i.e adapted to its marine environment. From this, we show that the whale sleeps every night (Fig. 3) (VIALE *et al.*, 2019); that it uses permanent or temporary currents to move around but also to sleep (Viale *et al.*, 2020). There remained the three tangled areas of the whale's trajectory in which we had found mysterious "intermittent mini-currents" which are, in fact, pieces of vortices. By calculating the lengths and speeds of all the segments traveled we create 3 explicit schemes: Fig.4,5,6. The behavior of the whale shows that it sleeps in rotation in the basic circle emerged from a vortex, but leaves it at 4 a.m. attracted to a swarm of Krill which it has sensed by echolocation. The interest of large cetaceans in them, revealed by our statistical analysis of WMCE data, is confirmed here by a single Finwhale monitored in the ARGOCET experiment.

**Keywords** Argos - Platform- Transmitter -Terminal; Fin Whale ; feeding search.

### Introduction

Notre expérience ARGOCET a réussi, pour suivre une baleine par satellite, l'accrochage durable d'une balise Argos à son aileron dorsal par un filin d'une dizaine de mètres (VIALE *et al.*, 1993).

Le but était de savoir si les baleines vivant en Méditerranée occidentale devaient en sortir – migrer – pour assurer leur survie comme cela a existé avant la première guerre mondiale, (JONSGARD, 1966 ; VIALE, 1985). Dans la même optique, nous avons participé au programme international multidisciplinaire d'expérimentations conduit par P. La Violette de la NORDA (Naval Oceans Research and Development Activities) qui visait à clarifier les causes d'instabilité de la circulation méditerranéenne du bassin occidental responsable de la création de gyres, méandres et vortex se répercutant sur la production de ressources vivantes (Western Mediterranean Circulation Experiment WMCE, 1986).

Nous y avons enregistré les cétacés en surface et les couches diffusantes (les DSL) de 0 à 1000 mètres en continu pendant 14 jours ; ce suivi a établi la stricte cooccurrence des cétacés en présence de couches sous jacentes diffusantes abondantes. Les cétacés n'ont été observés qu'en présence de biomasses sous-jacentes

abondantes, liées à des apports de sels nutritifs dus, par turbulence, à des remontées verticales de l'eau intermédiaire MIW, spécialement étudiées par BETHOUX & PRIEUR (1983), MILLOT (1987b) et PISTEK (PISTEK & PERKINS, 1988 ; VIALE & PISTEK, 1988).

La bande enregistrée de ce programme nous a été remise et nous l'avons étudiée, après le symposium de Bay Saint Louis en 1988. FRONTIER a mené une étude statistique avec l'analyse multifactorielle de correspondance des enregistrements acquis à WMCE. Sa figure 7 que nous reproduisons ici (Figure 1) montre un résultat notable : baleines (B) et cachalots (P) marquent leur intérêt pour des ressources disloquées et non la DSL continue, les « Discrete Schools ».

A l'époque, nous n'avons pas saisi l'intérêt de ce résultat pour l'évaluation des ressources alimentaires des cétacés, car parallèlement, en Septembre 1991, nous parvenons à marquer une baleine avec une balise ARGOS pour savoir si elle sort de Méditerranée en décembre à la recherche de nourriture.

L'expérience Argocet a échoué parce que la réserve énergétique, soigneusement fixée par l'ingénieur qui a conçu l'habitacle pour la balise émettrice, a été épuisée en 42 jours au lieu de 3 mois, surexploitée à fournir des informations nulles non

demandées dans le contrat d'achat de l'émetteur à CEIS Espace (VIALE *et al.*, 1992). L'échec cuisant, financièrement et mentalement, a conduit à l'abandon forcé d'une hypothèse pourtant séduisante : la baleine

dort-elle la nuit, comme elle l'a montré pendant 5 jours sur 42 de notre suivi! (PICHOD-VIALE *et al.*, 1993 ; TERRIS *et al.*, 1996 ; MOUILLOT & VIALE, 2004).

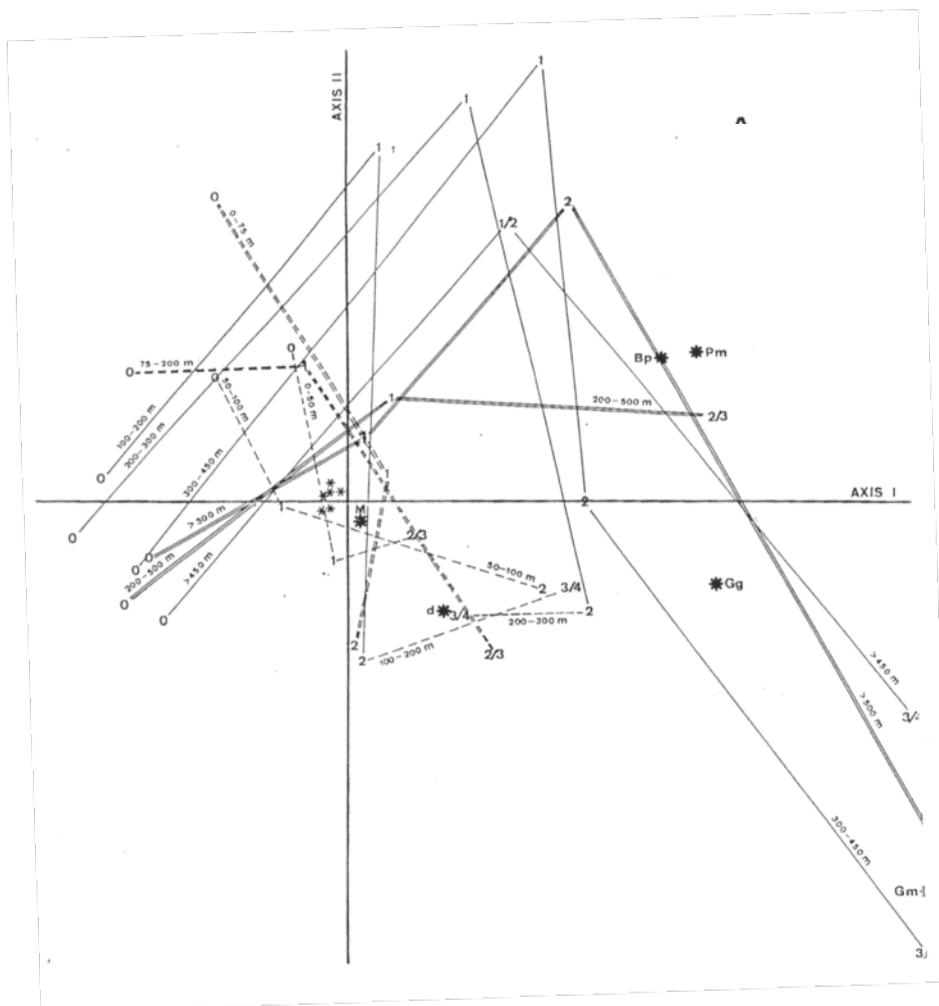
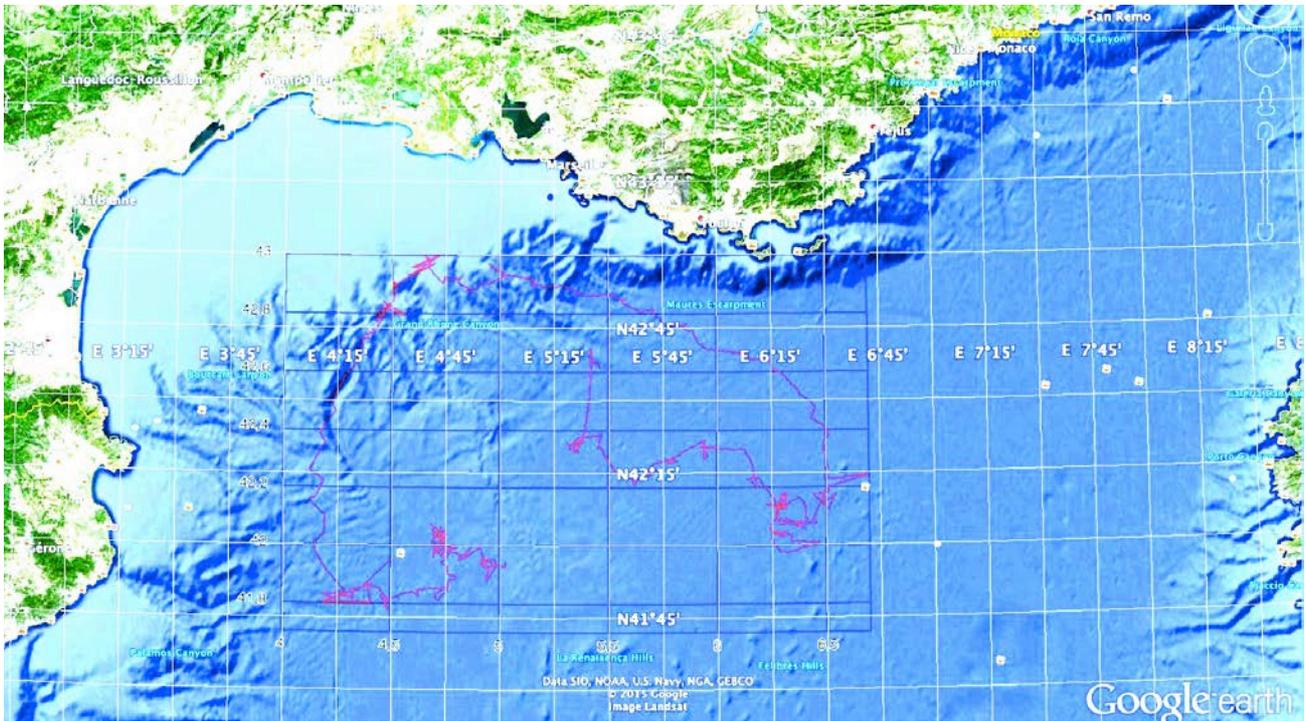


Figure 1. Projections des points-variables (descripteurs d'échos) sur le plan factoriel 1-2 de l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples. Les lignes correspondent aux différentes couches d'eau examinées. Ils présentent deux motifs (respectivement des lignes continues et des pointillés). Les lignes simples (continues ou pointillées) sont SSL à 0-50 et 50-100 m et DSL à 100-200, 200-300, 300-450 et >450 m. Les lignes doubles (continues ou pointillées) sont des échos discrets à 0-75, 75-200, 200-500 et 7 500 m. Les nombres sont les « valeurs d'écho » codifiées. Pour SSL et DSL, c'était : "0" est l'absence d'écho, "1" est clairsemé et faible, "2" est continu et plus dense, "3" est concentré, "4" est une concentration très perceptible. Pour les écoles discrètes (les essaims de krill dispersés), le « 0 » est absent, le « 1 » est rare, le « 2 » est assez abondant, le « 3 » est très abondant. De grandes étoiles avec des lettres indiquent la présence de mégafaune (variables supplémentaires de l'Analyse Factorielle). **B** représente les rorquals communs *Balaenoptera physalus*. **P** représente les cachalots *Physeter macrocephalus*. **G** représente les globicéphales *Globicephala melaena*. **g** représente les dauphins de Risso *Grampus griseus*. **d** représente les petits dauphins, **M** la mégafaune de surface autre que les Cétacés. Les petites étoiles signifient « absence ». (VIALE & FRONTIER, 1994).

Figure 1 - Projections of the variable-points (descriptors of echos) on the 1-2 factorial plane of Multiple Factorial Correspondence Analysis. Lines correspond to various water layers examined. They display two patterns (respectively continuous and dashed lines). Simple (continuous or dashed) lines are SSL at 0-50 and 50-100 m and DSL at 100-200, 200-300, 300-450 and >450 m. Double (continuous or dashed) lines are discrete echos at 0-75, 75-200, 200-500 and 7 500 m. Numbers are the codified "echo-values". For SSL and DSL was: "0" is absence of echos, "1" is sparse and weak, "2" is continuous and more dense, "3" is concentrated, "4" is a very noticeable concentration. For discrete schools, "0" is absent, "1" is scarce, "2" is fairly abundant, "3" is very abundant. Big stars with letters indicate the presence of megafauna (supplementary variables of the Factorial Analysis). **B** are fin whales *Balaenoptera physalus*. **P** are sperm whales *Physeter macrocephalus*. **G** are pilot whales *Globicephala melaena*. **g** are Risso dolphins *Grampus griseus*. **d** are small dolphins. **M** are surface megafauna other than cetacea. Small stars are absence of the same. (VIALE & FRONTIER, 1994).



**B**

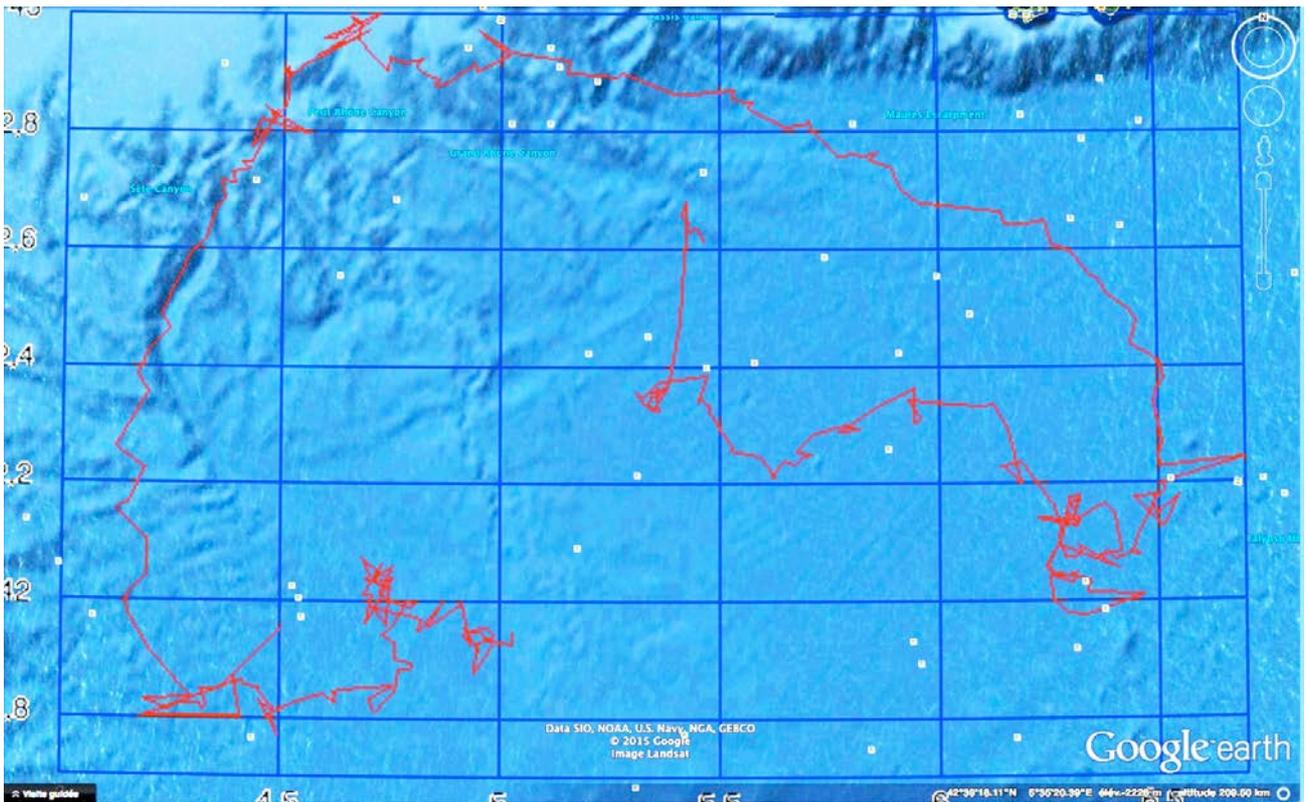


Figure 2. A : Trajet d'une baleine équipée d'un émetteur ARGOS superposé à la carte GOOGLE EARTH de la Méditerranée Nord Occidentale. L'adéquation est remarquable entre le trajet de la baleine et le relief sous-marin. B : Agrandissement de la figure A.

Figure 2. A : Track of the fin whale superimposed onto the corresponding GOOGLE EARTH map of the North-Western Mediterranean Sea (Corsica coast at right, French coast, Toulon, Marseilles at top, Spanish coast, Girona at left). B Figure A enlargement.

L'hypothèse a été reprise en 2014, grâce à la coopération d'un astrophysicien habitué à regarder la

terre depuis l'espace ; il a su immédiatement qu'il fallait inscrire les données du suivi de la baleine (Bp pour

*Balaenoptera physalus*) sur la terre et comment le faire avec les méthodes et moyens de l'ère numérique. Il a très rapidement situé toutes les localisations de Bp en km par rapport au méridien de Greenwich et à l'Equateur ; la carte du tracé de Bp obtenue, superposée à la carte Google Earth de la Méditerranée nord occidentale est stupéfiante (Figures 2A et 2B) : le parcours de Bp s'inscrit en totale cohérence avec le fond marin, les courants etc. ; il est devenu clairement significatif.

## Methods

C'est Claude Millot qui a identifié en novembre 1991 les premières boucles de notre Bp comme des « oscillations de corps en inertie » sur le premier graphe tracé à la main par un de nos étudiants curieux du sort de Bp (DELEPLANQUE *et al.*, 1993); il a ainsi montré que la baleine endormie se comportait comme les bouées flottantes dérivantes utilisées en océanographie, pour détecter les courants là où elles cessent de faire des boucles.

Cette « oscillation d'inertie » (MILLOT & CREPON, 1981) est une boucle dessinée en surface par tout corps flottant librement mis en mouvement par la force de Coriolis qui exprime l'effet de la rotation de la terre, observable uniquement par un observateur extérieur à la terre ; dès que le Bp est dans un courant

la boucle ne se ferme plus parce que la force du courant est supérieure à celle de Coriolis. Donc, quand le Bp fait une boucle, c'est qu'il est inerte dans une masse d'eau calme, non circulante, et cette phase en inertie dure 5 à 6 heures. L'astronome a calculé les heures de lever et coucher du soleil pour chaque jour du suivi de Bp et tracé la carte des jours et nuits (Figure 3) : les boucles se situent sur un changement jour-nuit, pour les 5 premières boucles du suivi : le Bp dort (VIALE *et al.*, 2019) ; mais cette boucle peut ne pas se voir dans la trajectoire de Bp, en particulier dans les tronçons embrouillés du circuit ; pour démontrer que la baleine dort toutes les nuits, L. Koechlin a reconstitué la totalité de ses rotations en calculant la somme des angles faits par 2 segments consécutifs entre 3 localisations successives de Bp; la somme représente 20 rotations égales à  $2\pi$  ; le graphe fourni par l'algorithme pour le cumul des rotations en temps réel des 41 jours de suivi, distingue 2 parties ascendantes séparées par une phase en plateau ; celle-ci correspond aux 11 journées de Bp passées dans les courants Nord-Méditerranéens permanents ; en effet, les rotations ne s'y cumulent pas, elles s'annulent, alors que les boucles dans les 2 parties ascendantes, s'additionnent car elles sont toutes en forme d'alpha dans le même sens, soit  $14+6 = 20$  boucles (VIALE *et al.*, 2019).

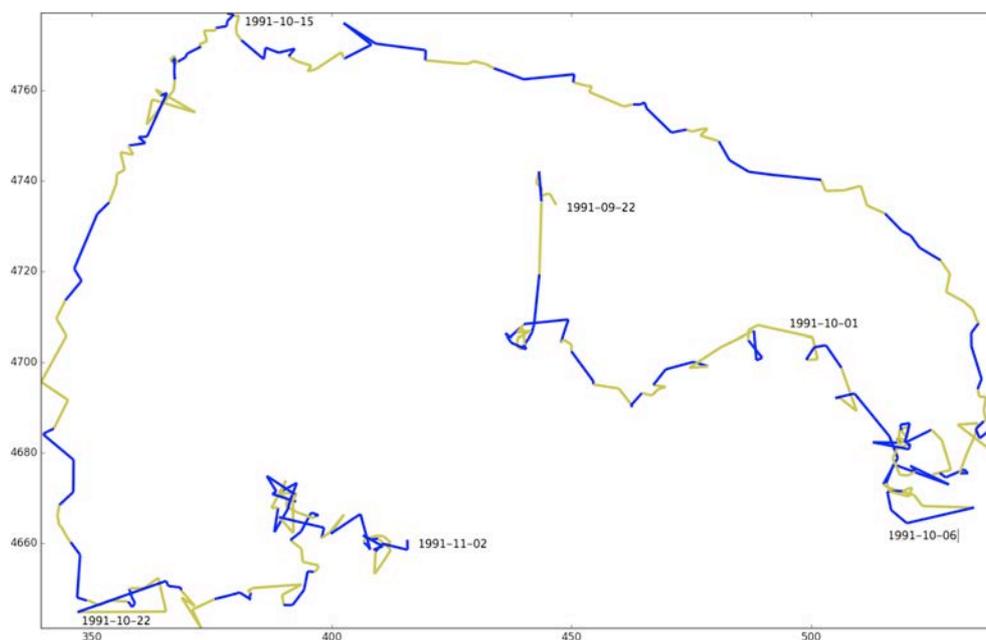


Figure 3. Carte des jours et des nuits; les segments commençant durant la nuit sont en bleu et ceux commençant le jour sont en olive. Echelle en kilomètres, verticalement depuis l'équateur, horizontalement à partir du méridien de Greenwich (extrait de VIALE *et al.*, 2019, modifié).

Figure 3. Map of days and nights, in blue are the segments starting during the night and in olive those starting during the day. Scale in kilometers, vertically from the equator, horizontally from the Greenwich meridian. (from VIALE *et al.*, 2019, modified).

La publication ayant été refusée par un Cétologue non convaincu, nous avons démontré que

Bp, pendant les journées passées dans les courants Provençal et Catalan dort de 20h30 à 1h50, créneau

horaire dit Hiatus, où il est prouvé qu'il est en inertie car sa vitesse est alors égale à celle du courant, telle que fournie par les cartes nautiques de l'époque ; mais nous avons prouvé aussi qu'il n'y dort pas toute la journée, car la vitesse de Bp calculée entre ses diverses localisations du jour, est par contre, très variable et différente de celle du courant (VIALE *et al.*, 2018, 2020).

L'expérience ARGOCET a donc servi à montrer qu'une baleine dort en mer, chaque nuit et même quelquefois au cours de siestes en plein jour aux heures où le krill n'est pas abordable, pas à sa portée ; elle dort dans les courants permanents ou les temporaires (« Winter-induced-mesoscale-currents » de MILLOT (1997, 1999)). Mais il restait à expliciter dans le parcours de la baleine marquée (Figures 2A et 2B), les 3 parties embrouillées qui ont été perçues comme des zones probables de nourrissage mais sans en comprendre le déterminisme océanologico-écologique (raison pour laquelle nous n'utiliserons pas le terme de « feedings grounds » des anciens céto-logues-baleiniers) ; là s'imposent les Vortex ou eddies engendrés par tous les courants saisonniers ou permanents.

*Comment avons-nous mis en évidence l'existence des eddies dans ces parties embrouillées du parcours de Bp ?*

Dans un imbroglio, un mini-courant est détecté entre deux localisations consécutives du Bp, celle de son entrée dans le courant le soir à 20h30 et celle de sa sortie à 1h ou 2h du matin : nous avons tracé un trait entre ces deux localisations, mais si Bp est dans un vortex, il a tracé en dormant un arc de cercle et non un segment : un cercle dont on ne saura jamais le diamètre ; mais l'arc de cercle est toujours plus grand que le segment qui est la corde de cet arc ; cette corde, c'est le segment sur lequel on calcule la vitesse de la baleine pour en déduire celle de la rotation du vortex utilisé. On le nomme « Hiatus », car il représente le créneau horaire 20h30-1h50 qui ne reçoit pas de messages, car les satellites sont alors trop bas sur l'horizon de la baleine pour percevoir ses émissions. Ensuite, le tracé se complique en polygone entre les points des localisations suivantes. Plusieurs mini-courants se côtoient, avec, parmi eux, entre eux, des boucles d'inertie de la baleine endormie, qui démontrent la présence de masses d'eau non circulantes : cette promiscuité a fait surgir en nous l'image de vortex entassés les uns contre les autres alors qu'ils flottent dans des masses d'eau calme, où la baleine parvient à se reposer en boucle.

C'est donc le comportement de la baleine marquée, utilisant la rotation de vortex pour se déplacer, mais qui préfère dormir en eau calme, qui nous a suggéré l'existence de vortex, flottant dans des masses d'eau non circulantes.

D'autres informations ont été nécessaires pour comprendre le comportement de la baleine : associer le

nombre de messages émis selon son activité ; et surtout utiliser nos acquis préalables obtenus au cours des campagnes en mer, du Programme International Pluridisciplinaire d'expérimentation sur la circulation de la Méditerranée Nord Occidentale WMCE en mai-juin 1986 et du Programme FRONTAL du CNRS TOMOFRONT (Avril 1988) ; sans oublier les efforts de toute notre équipe du programme TRANSMEDICET sur les Navires de l'IFEMER pour élargir notre territoire d'étude des cétacés à la partie Sud du Bassin occidental et à la Méditerranée Orientale. Nous avons bénéficié des connaissances acquises sur l'instabilité de la circulation du bassin méditerranéen au cours des décennies 80, 90 et 2000 : Mediproduct dans la continuation de WMCE, spécifique Millot ; le programme Frontal du CNRS avec Tomofront et Almofront ; également en continuation de la campagne WMCE car nous y avons longé le Front Alméria-Oran, où nous avons inventorié la plus forte densité de Cétacés, petites et grandes espèces, de toute la campagne WMCE dans le sud du bassin Méditerranéen.

Notre participation à ces campagnes nous a donné accès à une coopération remarquable par sa pluridisciplinarité et son niveau de compétences, mais également à un matériel efficace d'enregistrement de plusieurs paramètres en fonction du « temps » : date, horaire précis toujours inscrits sur les enregistrements ; ce qui nous a permis d'établir la concomitance rigoureuse des observations de grands cétacés uniquement en présence de krill concentré en essaim. Au cours de l'enregistrement en route par échosondeur (12 kHz), nous avons pu identifier les constituants précis du krill sous une baleine (Fin Whale) par une descente immédiate, in situ, d'une sonde CTD : ils ont fui devant la sonde dénonçant ainsi des espèces d'euphausiacées et de calmars, espèces réputées pour leur capacité à éviter les capteurs (l'échogramme est daté ; VIALE & FRONTIER, 1994).

Ce résultat est important ici pour notre étude de la baleine Argocet (Bp), car il démontre que les amas concentrés, sous une baleine sont des groupes de 2 ou 3 masses sphériques, en forme d'essaims d'individus capables de se dissocier et de se regrouper rapidement, comme les constituants du krill. Mais les groupes ne sont pas en couche continue ; il justifie donc le terme de « discrete schools » donné dans l'analyse statistique de FRONTIER (*ibid.*).

Par suite, il justifie l'intérêt que le Bp montre pour les 3 imbroglios qui sont finalement des groupes de vortex capables de nourrir des essaims de Krill grâce à leur contenu d'eau intermédiaire MIW riche en nutriments pendant leur courte vie et libérant le reste de leur capital à leur dissolution.

Nous avons décrypté l'emploi du temps de la baleine chronométrée par les satellites dans l'expérience Argocet, par comparaison avec nos acquis sur les horaires de la migration nyctémérale (nuit-jour) du krill lors de la mission de juin 1986, cadencée par le rythme solaire. Encore fallait-il avoir les heures précises de lever et coucher du soleil ; elles ont été

rétrocalculées par l'astronome L. Koechlin, pour chaque jour de campagne en juin 86 et automne 1991. Le comportement de Bp est apparu alors, totalement déterminé par l'action du cycle circadien sur le cycle du plancton.

A cette époque, P. LA VIOLETTE, R. ARNONE, P. PISTEK, C. MILLOT et I. TAUPIER-LETAGE étudiaient déjà par satellite la variation des eddies côtiers associés aux fronts et au courant algérien (ARNONE & LA VIOLETTE, 1986 ; WIESENBURG *et al.*, 1987). La taille et la durée de vie (3 ans, PUILLET *et al.*, 1996) de ces grands tourbillons étudiés au début étaient déconcertantes ; en fait, ils ont décrit des événements à grande échelle de la circulation du courant algérien ; par la suite, heureusement pour les vortex fréquents, moyens ou petits, MILLOT (1991, 1999), TAUPIER-LETAGE & MILLOT (2003) ont clarifié la situation et généralisé à tous les courants la formation des vortex, particulièrement ceux à partir des courants temporaires dans la zone d'enfoncement des eaux froides.

## Résultats

### Imbroglia 1

Le baléinoptère ou Bp entre dans l'imbroglia 1, au point 24<sub>1</sub> à la fin du hiatus 23<sub>3</sub>-24<sub>1</sub> à 1h38 venant directement et à grande vitesse du lieu où il a été étiqueté ; ce long hiatus nord-sud de 11 km a une vitesse de 1,5 km/h, équivalant à celle d'un courant permanent comme le catalan alors qu'il est temporaire, induit par les vents froids de cette zone d'enfoncement des eaux densifiées ; il prolonge sa nuit jusqu'au 24<sub>2</sub> à 3h30 à une vitesse de 1,2 km/h conservée jusqu'au 24<sub>3</sub> ; Bp est dans un courant ou un vortex dont il sort au point marqué 24<sub>3</sub> pour faire une sieste en inertie à la vitesse de 0,4 km/h pendant plus de 4h30 ; le Bp reste sur place et plonge, en traçant par ses localisations suivantes successives un polygone jusqu'à la dernière localisation à 19h30 marquée 24<sub>8</sub> au sud-est de la figure. Une nouvelle phase de sommeil en inertie du Bp commence jusqu'au du 25<sub>1</sub> à la vitesse de 0,6 km/h sur 3,4 km, pendant 5h 44min comme repos de la journée du 24 où le Bp est localisé 8 fois et envoie 17 messages ; le 25, il est localisé 10 fois et envoie 30 messages.

Pendant la journée du 25, les 10 localisations successives forment un polygone qui se ferme à 19h20 au point noté 25<sub>10</sub> (au nord du schéma), mais la nuit est déjà là depuis le point 25<sub>9</sub>.

L'activité de Bp en plongée est donc sur les 2 polygones. Au point 25<sub>10</sub> commence un long segment qui est la phase de hiatus de satellite jusqu'à 02h le 26<sup>1</sup> mais elle est ici prolongée, jusqu'à 4h36 avec une vitesse de 1,0 km/h inférieure à celle de la nuit du 23 au 24. Il est probable que Bp fatigué par les efforts des nombreuses plongées des 2 jours précédents ait prolongé sa nuit en restant dans un courant temporaire jusqu'à 04h36 ; le quitter à cette heure là est signifiant, car le krill est alors déjà groupé en essaim et se situe entre 50 et 100 m de profondeur.

Il est opportun alors de constater que le nourrissage qui paraissait sérieux les 24 et 25 septembre n'a pas rassasié le Bp qui a faim le 26 à 4h du matin ; en fait, cela indique également une dimension probablement modeste de la production de krill dans les deux polygones et aussi, une perception de stimuli renvoyés par son système « d'écholocation ou vocalisation ? », en bref celui qu'elle a et qui ressemble à notre échosondeur, pour l'informer d'une biomasse possible à sa portée.

La zone détaillée que nous agrandissons ici montre les segments parcourus de jour en boucles polygonales encerclées par trois segments de nuit utilisés par le Bp autour de la zone centrale qui lui a fourni de la nourriture, coûteuse en efforts qui semblent avoir été nombreux d'après les nombreuses émergences de la baleine, donc de localisations par le satellite.

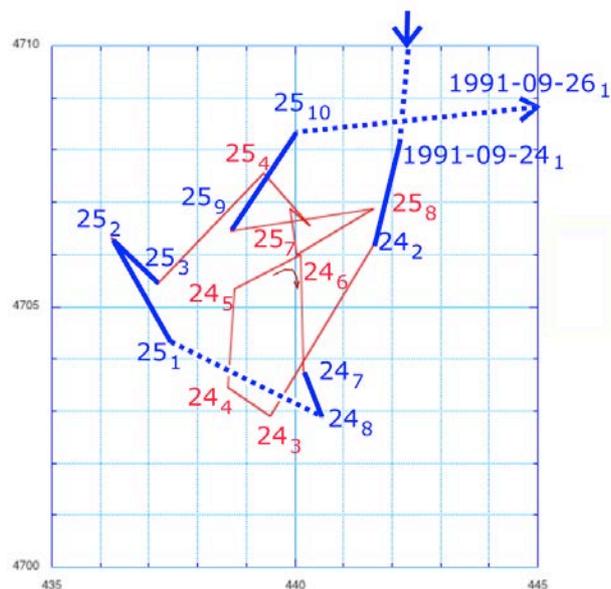


Figure 4. Détail de la 1<sup>ère</sup> zone embrouillée du tracé de la baleine marquée. Chaque localisation est datée et chronométrée, rangée par numéro de 1 à 11 en indice au cours du jour : Ex. le 1<sub>7</sub> pour la 7<sup>ème</sup> et dernière localisation du 1/10/1991 et 2<sub>1</sub> pour la première localisation du 2/10 ; l'axe des abscisses x est en km par rapport à Greenwich ; l'axe des y en km depuis l'Equateur. L'espace-temps du 1<sub>7</sub> au 2<sub>1</sub> est nommé Hiatus de 20h30 à 1h50 le lendemain. Les segments correspondant aux hiatus sont indiqués par des pointillés.

Figure 4. Detail of the 1st tangled area of the marked whale trace. Each location is dated and timed, arranged by number from 1 to 11 in index during the day: Ex. 1<sub>7</sub> for the 7th and last location of 1.10.1991 and 2<sub>1</sub> for the first location of 2.10; the x-axis is in km from Greenwich; the y axis in km from the Equator. The space-time from the 1<sub>7</sub>th to the 2<sub>1</sub>st is called Hiatus from 8:30 p.m. to 1:50 a.m. the next day. Segments corresponding to hiatuses are indicated by dotted lines.

La preuve de cette dépense d'énergie du Bp apparaît sous forme de segments à vitesse réduite de

l'ordre de celle d'une boucle de repos en inertie, à des heures où le krill est trop profond (de 8h à 13h) à une vitesse de 0,4 km/h, ou 0,24 km/h, par exemple les 24<sub>5</sub> et 25<sub>6</sub>. Ceci suggère deux eddies créés dans la zone d'enfoncement des eaux densifiées.

Cependant, le Bp marqué semble bien avoir détecté de loin la bonne densité de biomasse présente dans cet imbroglie, puisqu'il consacre toute la journée du 23/09 pour y parvenir rapidement. Une autre hypothèse serait que les deux eddies soient algériens, des eddies qui pourraient avoir franchi sans écueil la zone des 42° par le passage qu'on peut voir libre sur la Carte Google Earth de notre Figure 2 en capture d'écran. Ces vortex seraient hauts, de taille 2000 m, et plus vieux.

MILLOT & TAUPIER-LETAGE (2005) ont décrit des Aeddies très grands à l'Est du Bassin Algérien qui ont été des événements peu communs ; mais aussi des eddies de moyenne échelle dans le bassin Nord-occidental. Graphiquement, d'après le schéma et à l'échelle fournie par les calculs, les 2 polygones pourraient s'inscrire dans deux cercles de diamètre 7 à 10 km.

## Imbroglie 2

Il débute par une boucle visible déjà sur la carte générale de la Figure 3, car le hiatus du 30<sub>09</sub> au 1<sub>10</sub> est une boucle d'inertie dans la nuit du 30 septembre au 1<sup>er</sup> octobre, mais elle est déjà modifiée par la présence de courants forts induits par les vents d'automne à la fois d'ouest en est et du nord au sud : d'où l'élargissement de la boucle d'inertie sur un parcours de 3,25 km/h avec une vitesse 0,48 km/h, bien supérieure à celle d'une boucle en phase d'inertie observée en eau « non circulante »

La baleine se trouve alors à la latitude 42°33'N et la longitude 6,090° E) ; et la carte montre bien le changement d'orientation qu'elle prend alors vers l'imbroglie 2, c'est-à-dire vers le Front Baléarique à 42° (Figure 5). Cette zone embrouillée 2 décrit à la Figure 5 le détail du tracé de Bp, de 1991-10-01<sub>1</sub> au 1991-10-8<sub>10</sub>.

### Hiatus du 1<sub>7</sub> au 2<sub>1</sub>

Sur la figure Fig.5, la boucle faite du 1<sub>4</sub> au 1<sub>7</sub> au début de la nuit en haut à gauche, de la Figure, mesure 6 km à une vitesse de 1,5 km/h. Le hiatus en pointillé fait 11 km à la vitesse de 2,12 km/h, soit 56 cm/seconde.

Le 2<sub>2</sub> à 3h26, le Bp est localisé après avoir fait 6 km à une forte vitesse 3,26 km/h pour une plongée sur du krill encore groupé en essaim à -2 heures du lever de soleil de 5h40. Ensuite, il fait une sieste de 7h à 8h.

Les segments du 1<sub>7</sub> au 2<sub>7</sub> transportent le Bp plein sud, de la latitude 4694 à 4664, à grande vitesse en un peu plus de 24 heures soit 1,25 km/h. Le Bp se trouve à 20h30 sur la latitude 42°, zone du Front nord-baléarique (MILLOT, 1987b) zone réputée riche en vortex, agglutinés, stoppés parce que la pointe de leur cône se heurte au relief du fond marin comme le

montre notre Figure 2B du parcours de Bp superposé à la carte Google-Earth, montrant le relief du fond marin. La zone d'accumulation des eddies algériens migrant vers le nord-est désignée Front Baléarique (MILLOT, 1987b) mais sa localisation sur les cartes pose des problèmes; les eddies algériens Aes migrants ne parviennent pas au nord du parallèle 42°N. TAUPIER-LETAGE & MILLOT (2005) apportent de nombreuses modifications mais MILLOT (1999) avait déjà montré que les courants temporaires particulièrement induits par les vents froids forment aussi des eddies (des Meddies pour les distinguer des Aeddies).

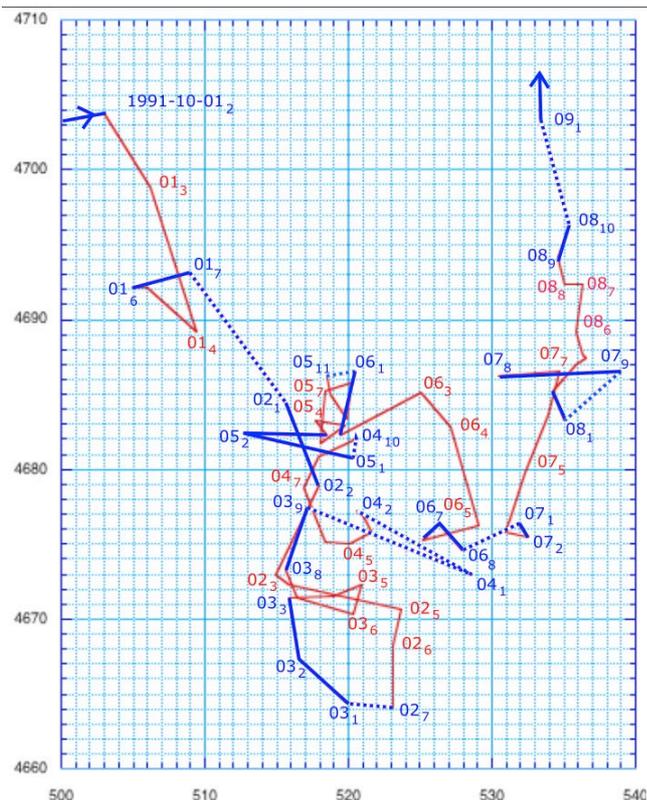


Figure 5. Détail du tracé de Bp, du 1-10-1991 au 8-10-1991. Chaque localisation est datée et chronométrée, rangée par numéro de 1 à 11 en indice au cours du jour : ex. le 1<sub>7</sub> pour la 7<sup>ème</sup> et dernière localisation du 1. 10.1991 et 2<sub>1</sub> pour la première localisation du 2.10; l'axe des abscisses x est en km par rapport à Greenwich ; l'axe des y en km depuis l'Equateur. L'espace-temps du 1<sub>7</sub> au 2<sub>1</sub> est nommé Hiatus de 20h30 à 1h50 le lendemain. Les segments correspondant aux hiatus sont indiqués par des pointillés.

Figure 5.- The detail of the Bp route, from 1991-10-01 to 1991-10-8. Each location is dated and timed, arranged by number from 1 to 11 in index during the day: Ex. 1<sub>7</sub> for the 7th and last location of 1.10.1991 and 2<sub>1</sub> for the first location of 2.10; the x-axis is in km from Greenwich; the y axis in km from the Equator. The space-time from the 1<sub>7</sub> to the 2<sub>1</sub> is called Hiatus from 8:30 p.m. to 1:50 a.m. the next day. Segments corresponding to hiatuses are indicated by dotted lines.

Au cours de la journée du 2 le Bp n'a émis que 37 messages, le minimum de tout son circuit,

fréquence très proche de celle du 20 octobre avec 39 messages et l'évidence de zones vides: en effet, le Bp pressé nage dans le courant, pour aller plus vite vers la même latitude dans le même but : aller vers une zone nourricière.

#### Hiatus de 2<sub>7</sub> à 3<sub>1</sub>

Cette phase d'inertie de la baleine est représentée par un segment de 3,2 km parcouru à 0,6 km/h. En revanche le trajet du jour 3 suggère beaucoup de plongées longues ou peu fructueuses donc pénibles comme le justifie une sieste de 8h30 à 12h et à 13h sous la forme d'une petite boucle en alpha sur 2 km à une vitesse de 0,11 km/h.; cette boucle marque la présence de masses d'eau non circulantes, alors que les segments suivants sont des mini-courants de 4 ; 5,5 et 4 km de long soit 3 tronçons d'arc de vortex nommés Meddies, en remontant en latitude.

#### Hiatus de 3<sub>9</sub> à 4<sub>1</sub>

Il est de 12 km à la vitesse de 2,20 km/h : d'allure discutable comme un artefact mais dimension possible d'un aller-retour très rapide en 4<sub>2</sub> dans des arcs de cercle de vortex comme le précédent ; puis à partir du 4<sub>3</sub> au 4<sub>10</sub> les points d'émersion de Bp sont fiables, ils dessinent un polygone ouvert; le 4<sub>3</sub> à 4h40, Bp plonge sur du krill reconcentré en descente pour un lever de soleil à 6h30 ; de même il plonge à 14h32 soit 2,5h environ avant un coucher de soleil à 17h15 ; cette plongée plus profonde est confirmée par l'émersion suivante, assez longue pour adresser 10 messages. La nécessité d'un repos se lit dans le ralentissement de la vitesse des segments précédant le hiatus suivant à 0,6, puis 0,4 km/h, puis 0,2 km/h dans le hiatus, tout ceci en eau non circulante.

#### Hiatus du de 4<sub>10</sub> à 5<sub>1</sub>

C'est une boucle d'inertie en eau calme qui dure 5h30 à 0,21 km/h. il apparaît ici que les eddies sont très voisins les uns des autres, et isolent entre eux d'étroites masses d'eau non circulantes qui autorisent la formation de « boucles d'inertie ». Mais c'est dans l'espace profond entre les cônes que se situent et survivent les essaims d'Euphausiacés; notons en effet que l'étroitesse d'espace signifie une forte probabilité de friction entre ces vortex très proches. Or la friction crée une turbulence favorable à la remontée des nutriments depuis les couches plus profondes riches comme « MIW l'eau intermédiaire modifiée » dès 600 m de fond vers la couche euphotique où la production de Phytoplancton les épuise chaque journée.

#### Hiatus du 5<sub>11</sub> à 6<sub>1</sub>

La boucle est une réelle oscillation d'inertie qui se prolonge 2h de plus (7,5 h) à la vitesse de 0,31 km/h sur un espace de 2,3 km en eau calme ; mais le 6<sub>2</sub> à 4h22, Bp tente une descente vers du krill, on le retrouve à 7h28 ayant fait 6 km en 3h ; le reste de la

journée du 6<sub>3</sub> au 6<sub>5</sub> est une activité intense décrite par des courants à grande vitesse de 1,5 à 2 km/h, bout à bout, symétriques de la descente rapide du 2.10 quatre jours avant ; à partir de 18h il dort dans un vortex à la vitesse de 1,4 km/h pendant 1,6 h et à 20h30 entre dans un vortex moins rapide à la vitesse de 0,718 km/h pour sa nuit.

#### Les hiatus des 6<sub>8</sub> à 7<sub>1</sub> et 7<sub>9</sub> à 8<sub>1</sub>

Ce sont sur des segments de 4 et 5 km parcourus à des vitesses de 0,718 et 0,839 km/h, durant respectivement 5,9 et 6,1 h ; ce sont donc des vitesses possibles pour des vortex formés par les courants temporaires engendrés par les vents froids ; les petits triangles les 6, 7 et 8 octobre, parcourus dans le sens des aiguilles d'une montre, sont des boucles de repos en inertie- sommeil (VIALE *et al.*, 2018).

Le grand segment tiré entre les localisations 7<sub>3</sub> et 7<sub>7</sub> est dû à des vitesses brutalement 2 à 3 fois plus fortes, comme si le Bp traversait divers vortex collés côte à côte, ayant des différences de vitesse.

Du 7<sub>8</sub> au 7<sub>9</sub> le segment est sans explication autre qu'une erreur d'enregistrement graphique.

Les 8<sub>5</sub> et 8<sub>6</sub> de 6h à 8h et de 8h à 10h, le Bp fait deux siestes de 1,6 h à vitesse réduite à 0,46 et 0,21 km/h ; ce sont des vitesses caractéristiques des phases d'inertie de Bp dans une masse d'eau eau calme, parce que piégée entre des vortex serrés et les courants qui les engendrent comme le suggèrent les 8 autres segments du jour 8 à vitesse variant de 0,8 à 1,2 km/h.

Les 7 et 8, le Bp est localisé à 4h00 et 4h10 en émersion avant d'aller plonger sur du krill concentré : c'est la preuve qu'il a des essaims en vue dans des colonnes d'eau susceptibles d'héberger la migration verticale des euphausiacées sur au moins 0-600 m de profondeur ; un autre rôle des eddies apparaît ici en tant que colonnes hautes jusqu'à 1000 mètres, ancrées au sol marin (voir figure 2 bis) structurant des espaces où les masses d'eau sont plus ou moins immobilisées alors que tout, dans cette zone de turbulence favorable, tourne, frictionne ou s'écoule. Le Bp a des moments de récupération d'énergie pendant les heures de la journée sans disponibilité de krill. Il apparaît alors que le Bp n'a pas beaucoup de solutions de rechange pour se nourrir !

En fin de journée à 19h50 le 8<sub>10</sub> une activité est signalée par 12 messages complétant les 60 précédents depuis le 8<sub>1</sub> : c'est la sortie de l'imbroglio 2 et l'entrée dans les courants temporaires induits par les vents froids de la zone de turbulence créée par l'enfoncement des eaux froides.

#### Hiatus du 8<sub>10</sub> au 9<sub>1</sub>

C'est un tronçon de vortex ou de courant saisonnier à la vitesse de 1,20 km/h en direction SE-NW. L'activité augmente au cours du 9 octobre, prouvée par 78 messages.

Table 1. Tableau récapitulatif des vitesses de Bp dans les hiatus entre le 01 et le 09 octobre donnant une idée de la vitesse de rotation du vortex dans lequel le Bp dort de 20h30 à 1h50

Table 1. Summary table of the speeds of Bp in the hiatuses between October 1 and 9 giving an idea of the rotation speed of the vortex in which the Bp sleeps from 8:30 p.m. to 1:50 a.m.

Date	Heure fin hiatus	Vitesse in hiatus en km/h	Parcours en km	Synthèse
30 <sub>9</sub> -1 <sub>1</sub>	01:58	0,48	3,2	boucle + cot NW-SE
1 <sub>7</sub> -2 <sub>1</sub>	01:46	2,12 (56 cm/s)	11	cot temp fort NW-SE
2 <sub>7</sub> -3 <sub>1</sub>	01:37	0,606	3,2	eddy crée/cot.temp
3 <sub>9</sub> -4 <sub>1</sub>	01:26	2,20 (60 cm/s)	12	eddy ou cot.temp
4 <sub>10</sub> -5 <sub>1</sub>	01:15	0,217	1,2	boucle d'inertie
5 <sub>11</sub> -6 <sub>1</sub>	02:42	0,313	2,3	boucle d'inertie
6 <sub>8</sub> -7 <sub>1</sub>	02:29	0,718	4,3	eddy
7 <sub>9</sub> -8 <sub>1</sub>	02:19	0,839	5,1	eddy
8 <sub>10</sub> -9 <sub>1</sub>	02:06	1,20	7,5	cot tempo SE-NW

En conclusion, la latitude 42°N a bien été attractive pour notre Bp marqué ; il l'atteint à vive allure le 2 au soir mais vide car il remonte aussitôt dès 1h30 le 3, vers le nord et retrouve plus haut de l'activité jusqu'au 5, prouvée par le nombre de messages croissant du 3 au 5, de 5<sub>2</sub> à 5<sub>7</sub> puis 6<sub>9</sub>. Il tente une redescente les 6 et 7 qui ne fournit que le même minimum de 39 messages que le 2 au cours d'une descente infructueuse (mais qui a impliqué tout de même deux boucles de repos). Il semble donc que les vortex les plus sud de l'imbroglio 2 sur la latitude des 42° (front baléarique ?) aient coûté beaucoup d'efforts peu fructueux : il n'y a pas eu de renouvellement des ressources minérales aptes à maintenir une production de biomasses : car ce n'est pas simple de créer des euphausiacés ; il faut maintenir une présence et une constance de sels minéraux pendant plusieurs mois.

### Imbroglie 3 (A et B)

Sur la carte de la Figure 3 Jour/nuit, l'imbroglio 3 du 27 au 30-10 se situe à cheval sur la latitude 42° soit à 4664 km de l'équateur et sur la longitude 390 à 395. Mais il est précédé par le tracé compliqué du 22 au 26.10.1991, que nous désignons ici partie A, la Figure 6 étant l'agrandissement de la partie B de l'imbroglio 3.

#### Partie A de l'Imbroglie 3

Le 22<sub>1</sub>, sorti du courant Catalan fatigué et affamé comme nous l'avons déduit de son comportement (VIALE *et al.*, 2018) dans le courant Nord-Méditerranéen où il a passé une nuit de 8 heures à la vitesse de 1,24 km/h, sur 9,4 km, le Bp est brutalement entraîné vers le sud-ouest de 41,83° à 41,81° de latitude mais il revient aussitôt vers l'est ; ceci suggère l'existence d'un eddy et d'un courant d'ouest en est assez fort qui perturbe le tracé du Bp jusqu'au 26. Ce courant est connu, il est induit par les vents froids venant des Pyrénées ; il ferme la circonférence de courants de dérives, qui forment sur les cartes nautiques ce qu'on nomme le « Circuit Ibérique ».

#### Hiatus du 22<sub>7</sub> au 23<sub>1</sub>

Il indique que le Bp a dormi en une boucle d'oscillation d'inertie durant 8 heures à 0,16 km/h sur un parcours de 1,1 km. Le 23 est une journée perturbée ; le Bp est à la latitude 41,869° (869 millièmes de degré) au soir, soit à 4.642 km au nord de l'équateur.

#### Hiatus du 23<sub>6</sub> au 24<sub>1</sub>

Il montre que le Bp a dormi en boucle d'oscillation d'inertie dans des masses d'eaux calmes à 0,23 km/h sur 1,60 km pendant 6,9 h. La carte jour/nuit Fig3, montre que les segments assez longs rectilignes sont ceux de jour, intercalés entre des petites courbes en boucle incomplète, non fermée, tracée de nuit : donc un courant empêche la fermeture des boucles ; ceci décrit une activité de Bp le jour dans des masses d'eau circulantes et la nuit en boucle, à proximité, de corps en rotation flottant dans des masses d'eau calme : cela évoque des vortex proches les uns des autres ; ce sont peut-être des eddies algériens migrant, entassés probablement jusqu'au « Front Baléarique » (voir la figure 2B).

L'effort du Bp est suggéré par deux indications : le 24, il est repéré 32 fois avec 6 localisations fiables et 80 messages Le 24<sub>3</sub> de 6h13 à 7h54, 41,81° et 4,48°, le Bp nage dans un eddy tournant vite à 2,6 km/h sur un parcours de 4,45 km ; une telle vitesse a été trouvée antérieurement quand le Bp nage dans le tronçon du courant Catalan dont la vitesse propre a été calculée de 1,3 à 1,7 km/h (VIALE *et al.*, 2020), capable de générer des vortex.

D'autre part, le Bp a émis beaucoup de messages de même ordre de fréquence que celle de ses émissions pendant les 3 jours passés dans les canyons dits Rhône et Bourcart qui sont enrichis par l'effet d'upwelling du talus du Golf de Lion ; ce qui permet d'imaginer les eddies du 24 et les suivants actifs avec un courant fort, dans la turbulence d'une aire productrice de krill ; le courant pérenne dès l'automne peut même être flanqué d'un front productif.

#### Hiatus 24<sub>8</sub> au 25<sub>1</sub>,

De 20h58 à 2h25, il indique que Bp n'a pas été vu au 1er passage du satellite à 1h50 probablement déjà actif : il émet 10 messages, signe d'une émergence assez longue après plongée; il est repéré 31 fois, 9 localisations et 92 messages ce jour là. Observé à 2h25, à 41,83° et 4,62°, il révèle avec la vitesse de 0,62 km/h sur 4,4 km, l'existence d'un ensemble productif : le Bp est en effet à nouveau localisé à 4h04, car il plonge à cette heure là sur du krill regroupé en essaim au cours de sa descente et encore peu profond (entre -50 et -70 m) à cette heure précise, c'est à dire 2h avant le lever du soleil calculé exactement à 6h07 ce jour; ensuite on sait qu'il a fait des efforts en plongée, car au passage suivant du satellite à 5h53, il n'a parcouru que 0,335 km à une vitesse de 0,214 km/h, c'est dire qu'il vient de faire une sieste en boucle d'inertie en eau calme, dérivant par effet Coriolis. Cet eddy du 25 est donc actif dans un ensemble productif en krill.

#### Hiatus 25<sub>10</sub>-26<sub>1</sub>

De 20h36 à 2h12, le hiatus à la vitesse de 0,732 km/h signe un segment d'un eddy probablement engendré par un courant temporaire, mais il peut aussi être un eddy algérien car il se situe sous le Front Baléarique des 42° actif comme celui de la veille, car le Bp est actif et localisé 9 fois, avec émergence longue, ce qui permet l'émission de 69 messages ; d'autre part, les segments entre 2 localisations sont très courts indiquant que la baleine reste presque sur place et qu'elle passe du temps en plongées verticales profondes.

A partir du 26<sub>1</sub> le Bp prend la direction du nord vers la partie B de l'imbroglie 3 .

#### Imbroglie 3, partie B (figure 6).

##### Hiatus 26<sub>10</sub>-27<sub>1</sub>

Il est dans un eddy sur 42,001 et 42,793 de latitude Nord, à la vitesse de rotation de 0,824 km/h, sur 4,74 km ; mais le sommeil de Bp se prolonge jusqu'au lever du jour dans une boucle, en eau calme, à 0,24 km/h puis 0,31 km/h.

Sur la figure 6, hachurer les segments du hiatus sert à situer les vortex dont on peut calculer la vitesse de rotation ; ces vortex marquent des espaces-temps d'inertie totale du Bp endormi, où, donc, sa vitesse est celle de la rotation des vortex porteurs ; ces hiatus ne représentent qu'une partie de la nuit (5 à 6 heures) alors que la nuit, sur la carte générale du tracé Jours/nuits de la Figure 3, est par exemple le 26 octobre de 16h34 à 6h10 le 27 octobre, soit plus de 12 heures.

La disposition de ces 4 hiatus dans le graphe n'aide pas à imaginer ces vortex. Leur vitesse de rotation nous est suggérée par le calcul de la vitesse de la baleine entre 20h30 et 1h50 endormie en inertie: soit 0,82 ; 0,66 ; 0,86 ; 0,79 km/h.

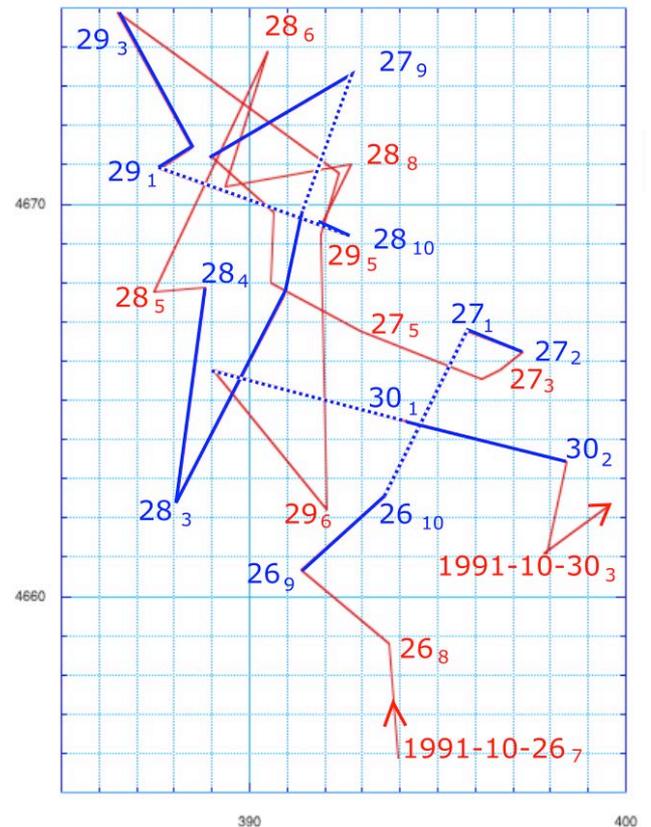


Figure 6. L'imbroglie 3B : du 27<sub>1</sub> au 31.10.1991 et des 1 et 2.11.1991 (extrait agrandi du tracé général de la trajectoire de Bp, la baleine marquée). Ce tracé agrandi en forme d'étoile à 8 pointes montre en ligne continue, les trajets minima de Bp jour et nuit des 27, 28, 29, 30 octobre et en pointillés les tronçons du trajet parcouru entre 20h30 et 1h50 dits Hiatus: ils s'entrecroisent, et suggèrent un certain intérêt pour le centre du schéma, donc une activité au centre du polyèdre, comme le montrent l'entrée le 27<sub>1</sub> et la sortie le 30<sub>1</sub>.

Fig. 6. Imbroglie 3B: from 27<sub>1</sub> to 31.10.1991 and from 1 and 2.11.1991 (enlarged extract of the general outline of the trajectory of Bp, the marked whale). Legend: This enlarged plot in the shape of an 8-pointed star shows in a continuous line, the minimum journeys of Bp day and night on October 27, 28, 29, 30 and in dotted lines the sections of the journey traveled between 8:30 p.m. and 1:50 a.m. known as Hiatus: they intersect, and evoke a certain interest in the center of the diagram, as shown by the entrance on 27<sub>1</sub> and the exit on 30<sub>1</sub>.

##### Hiatus du 27<sub>9</sub> au 28<sub>1</sub>

Il montre une vitesse de 0,66 km/h sur un parcours de 3,9 km. Le 27<sub>6</sub>, le Bp change de direction à 15h07 pour un coucher de soleil à 16h10, il a donc des chances d'atteindre le krill encore en essaim et, le 27<sub>8</sub>, il tourne brutalement vers le N-E et décrit de nuit à la vitesse de 2,6 km/h la pointe du 27<sub>9</sub> qui marque son entrée dans un vortex où il va passer 5,8 h jusqu'au 28<sub>1</sub> à 0,66 km/h.

#### Hiatus du 28<sub>10</sub> au 29<sub>1</sub>

Il a duré 6h, long de 5,2 km et parcouru à la vitesse de 0,86 km/h ; le Bp émerge quelques minutes et adresse des messages puis il plonge à nouveau.

Au total, entre le 27<sub>1</sub>, son entrée dans les polygones et le 30<sub>1</sub> sa sortie, il a été localisé 27 fois ; le calcul du nombre de messages émis montre la fréquence maximale d'émission de tout le circuit (215), supérieure à celle déjà forte de l'émission dans le Canyon Rhône- Bourcart (192), mais semblable à celle de 3 jours en courant Provençal (214) !

Le 29<sub>2</sub>, Bp déclenche à 3h18 une accélération qui forme la pointe du 29<sub>3</sub> qu'il atteint à 4h55 pour un lever de soleil à 6h12 ; il a peut être pu atteindre le Krill en essaim entre -50 et -70 m de profondeur ? Il est vu à 6h18 mais seulement localisé à 7h49, revu au 29<sub>5</sub> puis à 7 km plus au sud et entraîné par un courant fort à la vitesse de 2,4 km/h. Mais au 29<sub>6</sub> il inverse brutalement sa direction parce qu'il est 14h28 pour un coucher de

soleil à 16h30, et donc du krill concentré en essaim est peut être à nouveau à sa portée. Il est revu à 17h34, puis localisé à 19h22 au 29<sub>7</sub>.

#### Hiatus du 29<sub>7</sub> au 30<sub>1</sub>

Sur le segment pointillé de 4,9 km, Bp sort du polygone étoilé à la fin d'une large boucle en eau calme à 1h26 à et poursuit sa nuit sur le même segment de 4,9 km jusqu'au 30<sub>2</sub>, démontrant ainsi un besoin de repos. Mais à 4h44 au point 30<sup>2</sup> il change brutalement de cap vers une biomasse probable qui est en train de descendre ; avec un lever de soleil ce jour là à 6h13 ; le Bp est en retard de 21 minutes et il manque probablement l'essaim, car en plus il semble aller à contre sens d'un courant; le satellite ne le repère qu'à 7h28 ; dès lors jusqu'à 14h il se repose à la vitesse de 0,05 et 0,5 km/h ; il s'élancera à nouveau à 14h28.

Tableau 2. Hiatus descripteurs de 4 vortex utilisés par le Bp dans l'imbroglia3B  
*Table 2. Hiatus descriptors of 4 vortices used by the Bp in the imbroglia3B*

	Vitesse de rotation (km/h)	Longueur parcourue (km)	Durée du Sommeil (h)
hiatus du 26 <sub>10</sub> au 27 <sub>1</sub>	0,82	4,7	5,75
hiatus du 27 <sub>9</sub> au 28 <sub>1</sub>	0,66	3,9	5,80
hiatus du 28 <sub>10</sub> au 29 <sub>1</sub>	0,86	5,2	6,05
hiatus du 29 <sub>7</sub> au 30 <sub>1</sub>	0,79	4,9	6,22

Tableau 3. Vitesses dans le créneau horaire des hiatus du 24 octobre au 30 et du 31 octobre au 2 novembre au matin.  
*Table 3. Speed table in the hiatus time slot from October 24 to 30 and from October 31 to November 2 in the morning.*

Date	Heure fin hiatus	Vitesse hiatus (km/h)	Parcours (km)	Observations
24 <sub>8</sub> - 25 <sub>1</sub>	02:25	0,60	4,42	eddy
25 <sub>8</sub> - 26 <sub>1</sub>	02:12	0,73	4,09	eddy
26 <sub>10</sub> - 27 <sub>1</sub>	02:00	0,82	4,74	eddy commun
27 <sub>9</sub> - 28 <sub>1</sub>	02:34	0,66	3,91	2 petits polygones concentriques dans l'eddy commun
28 <sub>8</sub> - 29 <sub>1</sub>	01:36	0,86	5,25	eddy commun
29 <sub>8</sub> - 30 <sub>1</sub>	01:26	0,27	2,32	Boucle prolongée
30 <sub>8</sub> - 31 <sub>1</sub>	02:53	1,27	8,14	eddy+grand situé sous 42°
31 <sub>8</sub> - 01 <sub>1</sub>	02:42	0,84	5,5	eddy
01 <sub>8</sub> - 02 <sub>1</sub>	02:02	0,80	5,3	eddy moyen

Au total, dans l'imbroglia 3B de la Figure 6, quatre vortex sont décrits et démontrés, par l'usage qu'en fait le Bp la nuit. Mais quand il se déclenche à la recherche d'un essaim de krill concentré disponible, il part dans une direction orthogonale à la corde de l'arc,

c'est-à-dire radiale par rapport au vortex ; son comportement a été le même pour les 4 jours ; cela suggère que l'essaim de krill est individualisé dans le cône des vortex ayant abrité le Bp ces 4 nuits. : ces segments hachurés sur la Figure 6 **sont les cordes des**

**arcs de cercle utilisés par Bp sur le cercle basal émergeant en surface de la mer, de chaque vortex** tournant le plus souvent dans le sens des aiguilles d'une montre.

Quand les vortex se dissolvent, les essaims de krill épuisent les ressources restantes, en absence des turbulences des rotations qui en maintenaient la bonne densité.

Le comportement du krill a été le même que celui que nous avons observé dans notre expérimentation WMCE de 1986 (VIALE & FRONTIER, 1994) et dans les campagnes CNRS Tomofront. L'identification des Euphausiacés n'a pu être faite que sur des échouages ; l'espèce connue en Méditerranée occidentale est *Meganyctiphanes norvegica*.

### **Suite et fin du tracé de Bp du 31 octobre au 2 novembre**

La journée du 30<sub>1</sub>-30<sub>8</sub> est perturbée par un aller retour très rapide se traduisant graphiquement par une pointe qui ressemble à un artefact mais que nous n'avons pas éliminée parce que située à la latitude au km 4665 nord très proche de la latitude 42° que le Bp atteint le 30<sub>8</sub> à 18h50 et sur laquelle MILLOT (1987, 1999) place la limite nord du Front baléarique, où s'entassent des vortex algériens contigus qui peuvent être cyclonique ou anticyclonique. Cela nous permet d'expliquer l'aller-retour du Bp en triangle, voir Fig. 5 de part et d'autre du sommet du triangle au 30<sub>8</sub>. En effet, cette huitième et dernière localisation du 30 octobre est sur le parallèle 42° et dure assez longtemps pour émettre 10 messages distincts, et aussi pour changer de vortex : monter grâce à un vortex anticyclonique et descendre du 30<sub>8</sub> au 31<sub>1</sub> par un autre vortex contigu et cyclonique.

#### Hiatus du 30<sub>8</sub>-31<sub>1</sub>

Sur un parcours de 8 km à la vitesse de 1,28 km/h est peut être dû à un courant saisonnier, « wintertime induced current » de MILLOT (1999) comme nous en avons mis en évidence dans le tracé de Bp du 8 au 11 octobre (VIALE *et al.*, 2018) ou bien ici dans les 3 premiers jours de notre expérience les 22,23 Septembre 1991 dans un courant à 1,5 km/h ; car on se trouve alors dans la zone de la Méditerranée Nord-occidentale où commence le refroidissement des eaux superficielles quand débute la saison froide. De tels courants engendrent des vortex à vitesse de rotation identique, telle celui à 1,28 km/h, probablement vide car il ne retient pas l'attention de Bp qui poursuit sa quête de nourriture dans la journée du 31 en traçant deux polygones incomplets de petite taille : ils décrivent deux vortex.

#### Hiatus du 31<sub>8</sub> au 01<sub>1</sub>

C'est un segment de 5,5 km qui fait remonter le Bp vers le nord-est à la vitesse de 0,84 km/h.

#### Hiatus du 01<sub>8</sub> au 02<sub>1</sub>

De 19h50 à 02h29, c'est un segment de 5,4 km

parcouru à la vitesse de 0,80 km/h, tout à fait semblable au précédent; ils pourraient être des vortex de petite taille comme ceux inscrits le 24 et le 25 Septembre dans l'imbroglio 1.

La baleine quitte brutalement, en angle droit, le tracé du hiatus qu'elle a prolongé jusqu'à 4h, signifiant qu'elle a détecté de la biomasse encore concentrée en essaim et pas trop profonde, car le lever du soleil sera vers 6h05, selon un processus maintes fois indiqué dans ce travail. Mais, ici, ce détail est remarquablement important car il démontre que **notre expérience ARGOCET a été interrompue par une déficience de la source énergétique de la balise** et non de la Baleine.

### **Discussion**

L'étude détaillée segment par segment du comportement de Bp a fourni le même scénario répété presque chaque jour : « il dort dans un vortex à 0,7 km/h mais à 4h22 il se lance à une vitesse de 2,6 km/h, dans une direction orthogonale du hiatus c'est-à-dire radiaire par rapport au vortex : il va donc chercher du krill au centre du vortex ». Est-ce suffisant pour déduire que les Euphausiacés qui constituent l'essaim sont dans le cône du vortex ? On retrouve le Bp à 7h puis 9h dans des segments à faible vitesse ; et il donne alors des signes de recherche de repos : la prise de nourriture a-t-elle été coûteuse en effort ? Elle nécessite de la récupération. Il n'y a pas d'autre tentative de plongée jusqu'à 15h30 où l'essaim est à nouveau à la portée du Bp pour un coucher de soleil à 18h ; mais cette situation n'est pas quotidienne. Constatons donc le manque d'alternative pour l'alimentation du Bp : la possibilité de poissons fourrage a peut être existé quand le Bp a visité les canyons de Golfe du lion du 15 au 18/10. Là, l'upwelling permanent dû au virage du courant provençal fait remonter des ressources profondes et enrichit la zone du canyon, dont LK a calculé la largeur : 8 km. Le Bp montre le même rythme d'activité dans les Canyons que celui dans l'imbroglio 3B, révélée par un nombre presque maximal de 192 messages surpassé seulement par l'imbroglio 3A avec 202 messages et curieusement par les 3 jours 12, 13 et 14 octobre, passés dans le courant Provençal avec 214 messages. L'emploi du temps de Bp est le même que dans les imbroglios : plongée à 4h et 15,3 ou 16h, ce qui signifie une présence d'essaim de krill dans et entre les vortex.

Les cartes (Figures 2A et 2B) montrent les aspérités du fond marin sous le circuit de Bp qui ont pu arrêter les sommets des vortex hauts de 2000 m, certains même pouvant venir du Bassin algérien jusque dans l'imbroglio 1 – le passage est étroit mais possible. Mais il y a d'autres vortex moins hauts, ceux engendrés par les courants temporaires à une vitesse de 0,7 ou 0,8 km/h, par exemple, qui exercent, au contact, anticycloniques contre cycloniques, des frictions très actives pour la turbulence des sels nutritifs ; dans chacun des 3 imbroglio passent des courants puissants à 1,5 km/h, comme les courants permanents, provençal ou catalan, assurant des frottements turbulents avec les vortex

entassés. Ainsi se forme un espace structuré par les vortex en piliers d'une hauteur respectable, apte à immobiliser des petites masses d'eau où le Bp parvient à faire une boucle d'inertie à la vitesse de 0,2 ou 0,3 km/h sous l'effet Coriolis. Pour que cet édifice devienne producteur de plancton assez longtemps pour nourrir une chaîne à plus de 3 niveaux trophiques pour obtenir du krill, il faut un apport de sels nutritifs de plusieurs mois : la source est l'eau intermédiaire MIW méditerranéenne ou revenant du Bassin Oriental, la levantine LIW. Les veines d'eau MIW et LIW ont été identifiées (MILLOT, 1987c, PISTEK & PERKINS, 1988 ; MILLOT & TAUPIER-LETAGE 2003), mais leur cours varie souvent ; elles engendrent également des eddies, qui transportent donc des matières dans leur migration : ainsi apparaît la création de réserves nutritives « disloquées, éparpillées » : « les discrete schools » de la Figure 1.

Par les campagnes « Elisa » 1997-98, TAUPIER-LETAGE, PUILLAT, RIMBAULT et MILLOT ont démontré l'importante possibilité des grands « mesoscale eddies » (plusieurs par an) dans la répartition des sels minéraux pour le plancton et par suite de toutes ressources vivantes. Mais à toute échelle, les petits et moyens, tous les vortex en fin de vie participent, par leur masse d'eau importante transportée avec des sels nutritifs, à la diminution de l'oligotrophie du Bassin méditerranéen (TAUPIER-LETAGE *et al.*, 2001 ; GORSKY *et al.*, 2003).

Tous les vortex groupés induisent par friction beaucoup de remontées verticales précieuses pour entretenir le renouvellement des sels nutritifs dans la couche supérieure éclairée. A une plus petite échelle mais quotidienne des mouvements verticaux se font par la descente et remontée des essaims de krill faits d'Euphausiacées (espèce *Meganyctiphanes norvegica*) accompagnés de leurs prédateurs dont les plus gros le cachalot, les cétacés mangeurs de calmars, certains dauphins, les calmars, les thons et d'autres poissons ; ils transportent avec eux des substances adsorbées vers 500-600 m de fond, et des fragments de la nécromasse véhiculée par MIW et LIW, des squames de leurs propres organismes et de leurs déchets.

Finalement, nos imbroglis portent bien leur nom de systèmes compliqués. FRONTIER les a décrits comme ensemble de vortex formant un système complexe (VIALE & FRONTIER, 1994) que LEGENDRE *et al.* (1986) décrivent comme une ergocline.

## Conclusion

Les 3 imbroglis ARGOCET ont été des « systèmes » dont la caractéristique est de produire plus que la somme des productions de leurs éléments séparés ; donc, même fugaces, les vortex ont un rôle fondamental ; tout obstacle à leur migration les entasse en une aire de ressources condensées intéressantes pour les baleines ; par suite leur attachement aux essaims de krill les lie aux vortex de moyenne durée parce qu'ils contiennent, transportent et conservent des nutriments de l'eau intermédiaire, pendant plusieurs mois, temps nécessaire pour produire des Euphausiacés constituant du Krill.

Notre expérience ARGOCET d'un Bp suivi par satellite a donc confirmé les résultats de l'analyse multifactorielle de FRONTIER sur des données acquises par observation visuelle et échosondage des biomasses sous-jacentes, au cours de la campagne WMCE.

D'autre part, suivre un Baleinoptère par satellite nous a fait oublier qu'il ne vit pas tout seul, ce n'est pas un animal vivant en solitaire, mais en groupe de dix à douze. Vu le mal qu'il se donne pour se nourrir, au cours de son circuit, on imagine mal la quantité à fournir pour nourrir dix compagnons. Malgré l'aire favorable écologiquement choisie, il apparaît donc une exiguité des ressources alimentaires pour les grands cétacés en Méditerranée. Jadis, ils en sortaient pour survivre. (JONSGARD, 1966 ; VIALE, 1985).

Nous avons traité des données anciennes, issues de processus fugaces, éphémères rendus accessibles grâce à la numérisation, sans perdre une minute de la vie de la baleine observée ; ceci a permis d'apercevoir un début d'usure de la planète qui ne peut plus nourrir tous ses éléments vivants ? Des exclusions se dessinent, nettement confirmées 32 ans après : c'est peu comme délai d'évolution, le temps de passer de 2,5 à 8 milliards d'Humains.

## Remerciements

**Financements** : CNRS Aide n° 34915 AD12, Laboratoire d'écologie des cétacés ; Université ParisVI (ERA715 Pr. Paul Nival, Villefranche-sur-mer) ; Université de Corse (Faculté des sciences, CEVAREN) ; Région Corse ; Etablissement Régional du Matériel des Armées en Corse ; fonds privés dont aide familiale.

Nous souhaitons remercier :

Les Autorités Ministérielles des Armées de Terre qui ont autorisé la Direction de l'Etablissement Régional du Matériel des Armées de Corse d'accepter une coopération avec l'Université de Corse, permettant ainsi la réalisation et la réussite de notre expérience.

Le Comité Inter Régional Méditerranéen pour l'attribution des navires et moyens à la mer du CNRS, la Commission Nationale CNRS-IFREMER pour l'attribution des navires de l'IFREMER en valorisation de transit pour des missions lointaines (Noroît, Suroît, dernier voyage du Charcot !) ;

Le Colonel COAT, Etablissement Régional du Matériel des Armées à Corte (ERM)

Jean Noël de Crescendo qui, à la fin de son DEA, consacra l'été à enclencher son projet d'une Balise ARGOS pour une Baleine à un rythme incompatible avec les Universités ;

L'ingénieur Jean Jacques Pesando de Nice, concepteur de nos balises Argos ;

Julien Viale, concepteur du séparateur automatique du canot et de la balise accrochée ;

Anne-Claire Viale pour son soutien sans faille ;

Laurent Masson et Jean-Noël Sallembien, Société INTECUM Bastia (Corse), qui ont fourni le scan des listages ARGOS ;

Les scientifiques océanographes pour leur aide ; C. Millot, Louis Lecoff ; I. Taupier-Letage et ceux, amis de

la station Marine de Villefranche-Sur-Mer ; etc...  
 Les officiers-Armuriers-tireurs d'élite- Patrick Braconnier et Maurice Fenouillère (ERMA, Corte);  
 Le technicien-guetteur Jacques Roquefère pour son aide courageuse à Charles-Paul Viale dans le canot d'approche de la Baleine ;  
 Nelly Terris, Isabelle Palazzoli, Anne Marie Isetti, Jean-Pierre Frodello, P. Deleplanque ; A. Giordano ; J.M. Legall ; D. Cousin ; V. Fallet ; J.-P. Frodello ; D. Mouillot, qui ont porté le projet ;  
 Les équipages du N/O Korotnef ou Antedon et plus particulièrement les marins du N/O Catherine Laurence qui ont proposé de rester en mer, au soir du 21 septembre 1991 : ils nous ont permis ainsi de réussir à marquer la baleine tôt le lendemain ;  
 Le Centre de météorologie spatiale de Lannion nous fournissant les cartes de fronts thermiques ;  
 M.M. et Mmes Taillade, Gros, Ortega et collègues suivants, du service CLS ARGOS (Centre de localisation par satellite Argos) de Toulouse ;  
 Marins, techniciens du CNRS ou bénévoles étudiants, qui ont participé ou aidé à réaliser cette mission Argocet.

## Références

- ARNONE, R.A. & LA VIOLETTE, F. (1986).- Satellite definition of the bio-optical and thermal variations of coastal eddies associated with African current. *J. Geophys. Res.*, **91**, 2351-2364.
- BETHOUX, J.-P. & PRIEUR, L. (1983).- Hydrologie et circulation en Méditerranée nord-occidentale, *Pétroles et Techniques*, **299**, 25-35.
- DELEPLANQUE, Ph. (1993).- voir PICHOD-VIALE *et al.*, 1993
- GORSKY, G., PRIEUR L., TAUPIER-LETAGE, I., STEMMANN, L. & PICHERAL, M. (2002).- Large particulate matter in the western Mediterranean; I, LPM distribution related to mesoscale hydrodynamics. *J. Mar. Syst.*, **33-34**, 289-311.
- JONSGARD, A. (1966).- Biology of the North Atlantic Fin whale *Balaenoptera physalus*, distribution, migration and food. *Hvalradets Skrifter*, **40**, 1-62.
- LEGENDRE, L., DEMERS, S. & LEFAIVRE, D. (1986).- Biological production of marine ergoclines. In : *Marine interfaces Ecohydrodynamics*, J. Nihoul ed., Elsevier, p. 1-30.
- MILLOT, C. (1987a).- Circulation in the West Mediterranean Sea, *Oceanol. Acta*, **10**, 143-149.
- MILLOT, C. (1987b).- The North African eddies study. The Medipro V Experiment ; *WMCE Newsletter*, **9**, 67-69.
- MILLOT, C. (1987c).- The circulation of the Levantine Intermediate Water in the Algerian Basin. *J. Geophys. Res.*, **92**, 8265-8276.
- MILLOT, C. (1988).- The circulation in the Algerian basin inferred from the Medipro V currentmeter data set. Commun. WMCE Symposium, Bay Saint Louis, USA, March 1988. *WMCE Newsletter*, **12**, 10.
- MILLOT, C. (1999).- Circulation in the Northern mediterranean sea. *J. Marine Systems*, **20**, 423-442.
- MILLOT, C. & TAUPIER-LETAGE, I. (2005).- Circulation in the Mediterranean Sea. *Hdb. Environ. Chemistry*, **5** (Part K), 29-66.
- MOUILLOT, D. & VIALE, D. (2001).- Satellite tracking of a Fin Whale tagged with an Argos PTT buoy and fractal analysis of its trajectory. *Hydrobiologia*, **452**, 163-171.
- PICHOD-VIALE, D., DELEPLANQUE, Ph. & MILLOT C. (1993).- Changement d'échelle et suivi d'une baleine par satellite, Commun. Rencontres du CNRS et du Programme National de Télédétection Spatiale (1993) dans l'étude des milieux naturels. Strasbourg 17-19 mai 1993.
- PISTEK, P. & PERKINS, H. (1987).- Physical oceanography of the Southern Basin of the Western Mediterranean in June 1986. *WMCE Newsletter*, **9**, 68-71.
- PRIEUR, L., RAIMBAULT, P. & TAILLIEZ, D. (1988).- Very high biomass of phytoplankton in a frontal zone near the Algerian Coast at 4'40'E. Commun. WMCE Symposium, Bay Saint Louis, USA, March 1988. *WMCE Newsletter*, **11**, 65.
- PULLAT, I., TAUPIER-LETAGE, I. & MILLOT C. (2002).- Algerian eddies lifetimes can be near 3 years. *J. Mar. Syst.*, **31**(4), 245-259.
- SALAT, J., MILLOT, C., FONT, J. & LADON, E. (2002).- Analysis of mesoscale phenomena in the Algerian Basin observed with drifting buoys and infrared images. *Deep Sea Research*, **49** (2), 249-266.
- SOURNIA, A., BRYLINSKI, M., DALLOT, S., LECORRE, P., LEVEAU, M., PRIEUR, L. & FROGET, C. (1990).- Fronts hydrologiques au large des côtes françaises. Les sites-ateliers du programme Frontal. *Oceanol. Acta*, **13**, 413-438.
- TAUPIER-LETAGE, I., PULLAT, I., RAIMBAULT, P. & MILLOT, C. (2003).- Biological response to mesoscale eddies in the Algerian Basin. *J. Geophys. Res.*, **108** (C8), 3245, doi : 10.1029/1999JC 000117, 2003
- TERRIS, N., FRODELLO, J.P., MOUILLOT, D. & VIALE, D. (1996).- A Fin whale tracked by Argos PTT : use of space and feeding grounds search behavior. Comm. at 5th European Conference on Wildlife Telemetry ; Strasbourg, France, 25-29.08.1996. Actes 1996 PX-I.
- VIALE D. (1985).- Cetaceans in the Northwestern Mediterranean: their place in the ecosystem. *Oceanogr. mur. Biol. ann. Rev.*, **23**, 491-571.
- VIALE D. (1995).- Courbes du courant liguro provençal marqué par les grands Cétacés. Comité d'océanographie physique. *Comm. Int. Expl. Mer. Méditerranée*, **34**, 198.
- VIALE, D. & FRONTIER, S. (1994).- Surface megafauna related to western Mediterranean circulation. *Aquat. Living Resour.*, **7**, 105-126.
- VIALE, D. & PISTEK, P. (1988).- Correspondance between surface megafauna and deep scattering layers related to the Western Mediterranean Sea circulation. In *WMCE Newsletter*, "Western Mediterranean Circulation Experiment", Symposium, Bay St. Louis, U.S.A. **11**, 69.
- VIALE, D., KOECHLIN, L., VIALE, C. & MILLOT, C. (2018).- Le sommeil d'une baleine dans les courants marins

de Méditerranée Nord-occidentale ; Communic. au Congrès Soc. Zoologique de France, Paris ; Abstract : <https://www.argos-system.org/whale-slumber-in-argos-data/>  
VIALE, D., KOEHLIN, L. & VIALE, C.P. (2019).- Sleep cycle of a fin whale based on reprocessing of old satellite observations. *BioRxiv*, doi:

<https://doi.org/10.1101/655886>.  
VIALE, D., KOEHLIN, L. & VIALE, C.-P. (2021).- Mise en évidence du sommeil d'une baleine dans les courants marins de Méditerranée nord-occidentale, *Bulletin de la Société Zoologique de France*, **146** (1), 39-51.